

méthodes simples pour l'aquaculture

pisciculture continentale LE SOL

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



Le présent ouvrage est le second manuel à être publié dans la *Collection* *FAO: Formation sur les méthodes simples pour l'aquaculture*. Il traite du sol dans la pisciculture en eau douce. La pédologie est une science complexe, qui couvre de très nombreux domaines, et il est souvent difficile d'identifier les renseignements indispensables à une utilisation spécifique du sol. L'objectif de ce manuel est de rassembler en un seul livre les concepts de base qui déterminent la réussite de la planification et du développement de la pisciculture en eau douce et de les présenter sous une forme simple.

Cet ouvrage a été préparé dans le cadre des activités du Programme ordinaire de la FAO, au Service des ressources des eaux intérieures et de l'aquaculture.

méthodes simples pour l'aquaculture

pisciculture continentale LE SOL

Texte: A.G. Coche
Illustrations et mise en page: T. Laughlin

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 1986

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

P-44

ISBN 92-5-201355-5

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche bibliographique ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome (Italie), en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO 1986

LES MANUELS DE FORMATION PRATIQUE À L'AQUACULTURE

La série Méthodes simples pour l'aquaculture, préparée par le Service des ressources des eaux intérieures et de l'aquaculture (Division des ressources halieutiques et de l'environnement), comporte un certain nombre de manuels décrivant sous une forme simple les méthodes et le matériel nécessaires aux responsables de la vulgarisation de l'aquaculture dans les pays en développement.

Ces manuels trouvent leur utilité non seulement sur le terrain, mais aussi dans les centres de formation où ils servent de base à l'enseignement pratique. Ils sont consacrés à l'étude de la plupart des aspects de la pisciculture semi-intensive en eau douce, depuis le choix de l'emplacement des étangs et la construction d'une ferme piscicole jusqu'à l'élevage et finalement la récolte du poisson.

Deux manuels sur les méthodes simples pour l'aquaculture ont déjà été publiés dans la Collection FAO: Formation.

*Pisciculture continentale - L'eau (volume 4)
Pisciculture continentale - Le sol (volume 6)*

Les manuels suivants sont en préparation:

*Pisciculture continentale - La topographie
Pisciculture continentale - Les étangs et leurs ouvrages
Pisciculture continentale - La gestion*

La FAO souhaiterait vivement que les lecteurs de ces manuels lui fassent part de leurs avis. Leurs commentaires, critiques, opinions ou contributions aideront à améliorer les éditions futures. Qu'ils veuillent bien adresser leurs observations au Fonctionnaire principal des ressources halieutiques (aquaculture), FAO/IRI, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome (Italie).

This One



Y6U9-MOF-23RN

COMMENT UTILISER CE MANUEL

Les informations fournies dans ce manuel sont présentées par section et précédées de définitions de base. Le lecteur prend peu à peu connaissance des notions les plus fondamentales et les plus simples, puis des plus difficiles, et enfin des notions complexes.

Les notions fondamentales sont présentées sur des pages blanches. Pour faciliter les recherches du lecteur, une liste des méthodes simples, des études et des essais est donnée à la page xii. Les notions plus

compliquées, qui n'intéressent pas nécessairement tous les lecteurs, sont présentées sur des pages beige. Certains mots techniques utilisés dans le manuel portent un astérisque (*), et leur définition se trouve dans le glossaire de la page 162.

Pour les lecteurs plus avertis, qui souhaitent en savoir davantage sur la pédagogie, une liste de livres spécialisés sur le sujet est donnée à la page 165.

Table 1. Mean (SD) age, height, weight, and body mass index (BMI) of the 100 children in the study

Measure	Mean (SD)
Age (years)	10.1 (0.5)
Height (cm)	145.2 (10.1)
Weight (kg)	38.5 (10.2)
BMI (kg m ⁻²)	23.1 (3.5)

children were asked to perform a series of 10 trials of the task. The first trial was a practice trial and the remaining 9 trials were recorded. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as fast as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as slowly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as accurately as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as quickly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as slowly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as accurately as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as quickly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as slowly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as accurately as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as quickly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as slowly as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

Children were then asked to perform the task again, but this time they were asked to perform the task as accurately as they could. The mean of the last 9 trials was used for analysis.

TABLE DES MATIÈRES

1	GÉNÉRALITÉS		
10	But du manuel	2	
11	Qu'est-ce que la sol ?	3	
12	Pourquoi devez-vous étudier votre sol ?	4	
13	Origine et évolution du sol	6	
14	Soi et santé des sols minéraux	11	
15	Horizons des sols minéraux	18	
16	Composition du sol	20	
17	Principaux types de sols	22	
18	Quelques exemples d'appellations particulières données aux sols	25	
2	PRÉPARATION ET EXÉCUTION D'UNE PROSPECTION PÉDOLOGIQUE		
20	But de la prospection pédologique	28	
21	Échelle de la sol	28	
22	Méthodes d'échantillonnage des sols	31	
23	Comment faire une prospection pédologique destinée à une ferme piscicole	41	
24	Comment conduire une prospection pédologique de reconnaissance	42	
25	Comment faire une prospection pédologique détaillée	46	
3	PROPRIÉTÉS DU SOL IMPORTANTES POUR LA PISCICULTURE EN BAU DOUCE		
30	Tests de classification	52	
31	Propriétés de base des sols pour la pisciculture en eau douce	52	
4	PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU SOL		
40	Les qualités chimiques des sols évoluent dans le temps ...	55	
41	Réaction chimique du sol (le pH)	56	
42	Un cas particulier : les sols à sursaturés en ions d'eau douce ..	57	
5	COULEUR ET TACHES DE COULEUR		
50	Quelle est l'origine des horizons pédologiques	60	
51	Taches de couleur dans les horizons pédologiques	61	

6	TEXTURE DU SOL	
60	Définition de la texture du sol	64
61	Essais rapides à effectuer sur le terrain pour déterminer la texture du sol	65
62	Comment trouver les proportions approximatives de sable, de limon et d'argile	67
63	Comment classer la texture du sol	68
64	Classes texturales du sol et essais en champ permettant de les déterminer	70
65	Essais d'apportatoire permettant de déterminer les classes texturales	75
66	Pour déterminer les principales classes texturales: la méthode du triangle textural	78
67	La courbe granulométrique	80
7	STRUCTURE DU SOL	
70	Définition et importance de la structure du sol	92
71	Description de la structure du sol	93
72	Degrés de structure du sol	93
73	Classes et types de structure des sols	94
8	CONSISTANCE DU SOL	
80	Définition de la consistance du sol	96
81	Détermination de la consistance d'un sol mouillé	97
82	Détermination de la consistance d'un sol humide	99
83	Détermination de la consistance d'un sol sec	100
84	Détermination de la consistance d'un sol à l'aide des limites d'Atterberg	101
85	Calcul de l'indice de plasticité et sa signification	104
86	Diagramme de plasticité des sols à grains fins	107
9	PERMEABILITÉ DU SOL	
90	Pourquoi est-il important de déterminer la perméabilité du sol?	110
91	Quels facteurs influent sur la perméabilité du sol?	112
92	La perméabilité du sol est liée à la texture et à la structure du sol	112
93	Classes de perméabilité des sols	114
94	Mesure de la perméabilité du sol au laboratoire	114
95	Mesure de la perméabilité du sol sur le terrain	115
96	Comment calculer les coefficients de perméabilité	126

10	DIVERSES PROPRIÉTÉS DU SOL	
100	Autres propriétés importantes du sol	132
101	Perméabilité d'un sol compacté	132
102	Caractéristiques de compactage	132
103	Compressibilité	133
104	Gonflement et retrait	133
105	Résistance au cisaillement	134
106	Tendance à l'érosion interne	134
11	CLASSIFICATION DE L'ATTITUDE DES SOLS A L'AQUICULTURE	
110	Le problème de la classification des sols	136
111	Le Système unifié de classification des sols	136
112	Classification des sols à fins sur le terrain	136
113	Classification des sols à gros grains sur le terrain	136
114	Correspondance entre les classes texturales USDA et le Système unifié de classification	139
12	LES SOLS ET LA PISCICULTURE EN EAU DOUCE	
120	Qu'avez-vous appris?	148
121	Aptitude du sol à la construction d'étangs de terre	148
122	Aptitude du sol à la construction de levées de terre	150
123	Aptitude du sol à la construction de canaux	156
124	Détermination de l'aptitude d'un sol alluvial	157
125	Les sols et la gestion des étangs pour la pisciculture	158
	Liste des abréviations	161
	Glossaire des termes techniques	162
	Bibliographie	165
	Photographies en couleurs du sol	167

TABLEAUX

Tableau 1	Définitions simplifiées et désignations des horizons majeurs	18	Tableau 9	Echelle de référence pour tracer les courbes granulométriques	85
Tableau 2	Comparaison des systèmes de classification des particules minérales du sol	22	Tableau 10	Courbe granulométrique typique établie par un laboratoire d'analyse des sols	87
Tableau 3	Propriétés de base des sols du point de vue de la pisciculture continentale	53	Tableau 11	Calcul des calibres effectifs et des coefficients d'uniformité à partir de courbes granulométriques	89
Tableau 4	Classes texturales USDA	74	Tableau 12	Quelques résultats d'analyses mécaniques du sol (analyse d'échantillons de sol perturbé prélevés dans des fosses à ciel ouvert)	105
Tableau 5	Analyse mécanique du sol — analyses granulométriques, classes texturales et pH de quelques échantillons de sol	77	Tableau 13	Quelques résultats d'analyses mécaniques du sol (analyse d'échantillons de sol perturbé prélevés à la tarière)	106
Tableau 6	Diagramme triangulaire des classes texturales de sol d'après les dimensions des particules USDA	79	Tableau 14	Diagramme de plasticité des sols à grains fins ...	108
Tableau 7	Courbes granulométriques typiques	82	Tableau 15	Classes de perméabilité des sols applicables à l'agriculture et à la conservation	115
Tableau 8	Courbes granulométriques de sols illustrant les résultats d'analyses mécaniques allant jusqu'aux très petites particules d'argile	83	Tableau 16	Classes de perméabilité des sols à l'usage du génie civil	115

Tableau 17A	Indicateurs visuels de la perméabilité : caractéristiques de la structure du sol	116	Tableau 22	Exemple de classification de terrain pour les sols à grains fins du système USC	143
Tableau 17B	Indicateurs visuels de la perméabilité : texture, comportement physique et couleur du sol	117	Tableau 23	Exemple de classification de terrain pour les sols à gros grains du système USC	144
Tableau 18	Etiapes successives pour calculer les coefficients de perméabilité à partir de mesures de terrain (pour un forage à la tarière où $H = 1,15\text{ m}$ et $D = 0,12\text{ m}$)	129	Tableau 24	Propriétés des sols pour le génie civil correspondant aux classes texturales USDA et au système USC	145
Tableau 19	Diagramme de plasticité modifié et Système unifié de classification des sols pour des sols à grains fins	138	Tableau 25	Aptitude relative de différents types de sols à la construction de digues	152
Tableau 20A	Système unifié de classification des sols (définition des principaux groupes de sols à gros grains)	140	Tableau 26	Caractéristiques de divers sols en tant que matériaux pour la construction de digues et de barrages	153
Tableau 20B	Système unifié de classification des sols (définition des principaux groupes de sols à grains fins)	141	Tableau 27	Aptitude relative des sols à la construction de canaux	156
Tableau 21	Appellations caractéristiques et symboles des groupes de sols du Système unifié de classification des sols	142	Tableau 28	Graphique et courbes de référence pour la détermination de l'aptitude d'un sol à partir de la courbe granulométrique établie pour un échantillon de ce sol	158

MÉTHODES SIMPLES, PROSPECTIONS ET ESSAIS

Méthodes d'échantillonnage des sols		
Méthode de la fosse à ciel ouvert	32	71
Méthode du sondage à la tarière	34	72
Méthode du tube à paroi mince	38	73
Comment conduire une prospection pédologique		
Comment conduire une prospection pédologique de reconnaissance	42	97
Comment faire une prospection pédologique détaillée	46	98
		99
		100
		103
Propriétés chimiques du sol		
Comment identifier un sol à sulfates acide en puissance	58	
Texture du sol		
Test du lancer de la boule	65	115
Test de la pression	66	118
Test de la bouteille	67	120
Test du jet horizontal de la balle	68	126
Test de la bouteille secouée	70	
Test de l'écrasement à sec		
Test des manipulations successives		
Test des secousses		
Consistance du sol		
Adhérence d'un sol mouillé		
Plasticité d'un sol mouillé		
Consistance d'un sol humide		
Consistance d'un sol sec		
Limite de plasticité: la méthode du fil		
Perméabilité du sol		
Évaluation visuelle du taux de perméabilité d'horizons pédologiques		
Test de terrain simple pour estimer la perméabilité du sol		
Test de terrain plus précis pour mesurer les taux de perméabilité		
Comment calculer les coefficients de perméabilité		
Apptitude du sol à la construction de digues		
Test simple pour évaluer l'apptitude d'un sol à la construction de levées de terre		

1 GÉNÉRALITÉS

10 But du manuel

Dans la réussite de la pisciculture en eau douce entrent de nombreux facteurs. L'un des plus importants consiste à bien connaître le sol et ses caractéristiques. Le présent manuel a pour but de vous aider à acquérir, au sujet du sol, les connaissances de base qui vous seront utiles pour construire des étangs, des canaux d'amenée d'eau, des réservoirs, des barrages et de petites retenues, et pour aménager efficacement les étangs de pisciculture.

Pour cela, vous apprendrez à :

- Étudier votre propre sol en procédant à quelques essais simples que vous pouvez faire vous-même.
- Discerner les essais que vous ne pouvez pas faire vous-même car ils nécessitent des connaissances et un matériel dont vous ne disposez pas.
- Assimiler le langage technique des pédologues et des ingénieurs du génie civil pour pouvoir utiliser les analyses de sol et faire appel aux laboratoires spécialisés.

11 Qu'est-ce que le sol?

Le sol est un **mélange complexe** d'organismes vivants, de matière organique, de minéraux, d'eau et d'air. Prenez une poignée de terre et examinez-la de près. Vous remarquerez que c'est une masse composée de plusieurs sortes de petites particules.



Le sol est fait de :

- **Particules organiques** de matières végétales et animales en décomposition provenant d'organismes végétaux et animaux vivants.
- **Particules minérales** telles que du sable, de l'argile, des pierres ou du gravier, qui forment parfois des roches plus grosses.



Selon leur structure, leur texture et leur consistance, les différents types de sols retiennent plus ou moins d'eau et d'air. Vous étudierez plus en détail la formation des sols dans la section 16.

12 Pourquoi devez-vous étudier votre sol?

Le sol est votre matériau de base

Si vous voulez que votre élevage de poissons en eau douce réussisse pleinement, vous devez bien connaître votre sol. Le sol constitue le fond de votre étang. Si vous creusez votre étang, vous utiliserez le sol que vous avez extrait pour construire vos digues. Si vous voulez construire un réservoir pour emmagasiner l'eau, vous construirez un barrage en utilisant le sol. Il vous faudra creuser des rigoles ou des canaux dans le sol, qui iront de votre prise d'eau principale jusqu'à vos étangs.



Fond de l'étang



Digue de l'étang



Réservoir



Canal d'alimentation en eau

Est-ce que votre sol retient bien l'eau ?

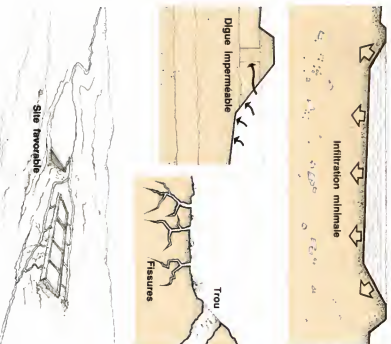
Il est important que vous sachiez dans quelle mesure votre sol est apte à retenir l'eau. C'est ce qu'on appelle la **perméabilité du sol**. Un sol perméable ne retient pas l'eau. Un sol imperméable retient bien l'eau. Avant de construire un étang de pisciculture, il vous faudra étudier votre sol pour voir si sa perméabilité se prête à la construction d'un étang. Si les pertes d'eau par infiltration sont trop importantes, vous aurez sans doute besoin de rendre étanche le fond de votre étang, de colmater les digues, ou encore vous constaterez peut-être que vos canaux d'alimentation perdent trop d'eau.

Mais sachez-vous que :

- Pour construire votre étang, vous devez choisir un emplacement où les pertes d'eau par **infiltration** seront réduites au minimum (voir section 21. Les pertes d'eau par infiltration, *Collection FAO: Formation, N° 4*).
- Quand vous construisez un étang, si vous avez un bon sol, vous serez assuré d'avoir des **digues** solides et imperméables qui gardent l'eau dans les étangs. Les terrains humides et marécageux sont souvent bons pour la construction d'étangs.
- Vous devez éviter les emplacements comportant des **trous** ou des **fissures**, des **termitières** ou des **affleurements rocheux**, des **rachins** d'arbres ou de grands arbustes. En ces points, les pertes d'eau pourraient être excessives et vous pourriez avoir des difficultés à colmater correctement le fond de l'étang.
- Si vous projetez de construire un petit **réservoir**, il faut choisir un bon emplacement pour la digue et repérer au voisinage un sol convenant à sa construction (voir section 41, Choix d'un site pour la retenue, *Collection FAO: Formation, N° 4*).

Comment procéder à une prospection du sol ?

Avant de commencer à construire un étang, il vous faut procéder à une prospection du sol pour vous assurer que l'emplacement se prête à la construction d'un étang. Au chapitre 2, intitulé « Préparation et exécution d'une prospection pédologique », vous apprendrez comment vous y prendre.



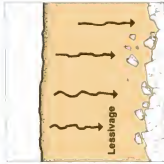
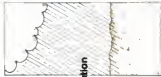
13 Origine et évolution du sol

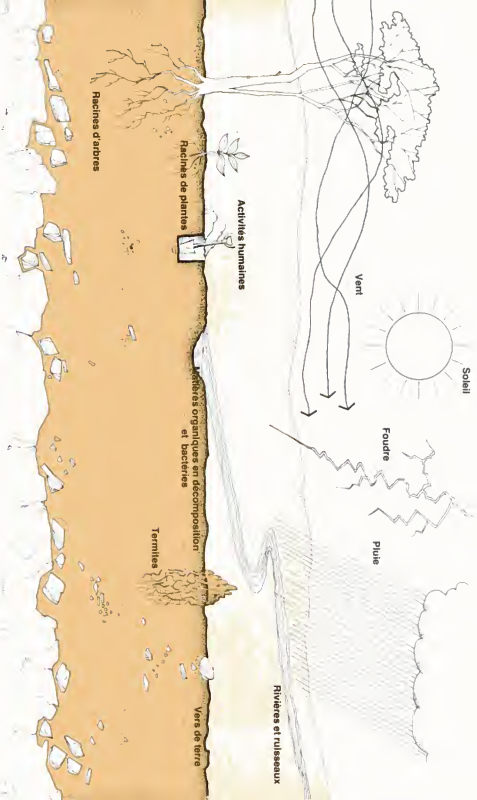
Quelle est l'origine du sol et comment les différentes roches évoluent-elles?

Les sols se divisent en deux grandes catégories: les sols minéraux et les sols organiques.



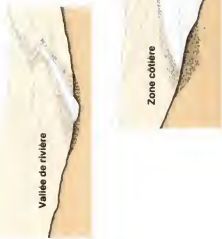
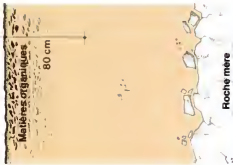
Les **sols minéraux** proviennent d'une roche originelle appelée **roche mère**. Ils évoluent avec le temps, à mesure que la roche mère se dégrade sous l'effet de différents phénomènes, physiques, chimiques et biologiques, dus à l'action du climat, du drainage, du lessivage, de l'érosion, de la végétation et des organismes vivants. C'est ce qu'on appelle **altération**. Ainsi, des températures élevées du sol fragmentent les roches en petits morceaux, sous l'effet d'une alternance de réchauffements et de refroidissements. La roche mère se divise progressivement en particules; des surfaces plus importantes entrent en contact avec l'eau, et la composition chimique des minéraux en présence se modifie. Les éléments chimiques solubles partent avec l'eau (ils sont **lessivés**) dans les profondeurs du sol, tandis que les produits moins solubles restent dans les couches supérieures du sol. L'altération se poursuit et, avec le temps, les sols minéraux évoluent pour devenir ce qu'ils sont aujourd'hui (voir photographies en couleurs).





Les **soils organiques** proviennent de la **matière organique**. Ils sont le produit de l'accumulation et de la décomposition progressives de matériaux végétaux et animaux, au fil des années. En règle générale, on dit qu'un sol est organique si :

- Plus de la moitié de la couche de sol comprise entre 0 et 80 cm est organique.
- Les roches sont recouvertes directement d'une quelconque épaisseur de matière organique.



Les **soils tourbeux** sont un type courant de sol organique (voir photographies en couleurs). Ils se forment dans des endroits mal drainés, souvent submergés, comme les vallées de rivières et les zones côtières, où la décomposition de la matière organique végétale est très lente, ou même nulle. Les couches de matière organique, étant formées par la végétation, commencent alors à s'entasser au-dessus du sol minéral et peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Les soils tourbeux, composés de 80 pour cent environ de matière organique partiellement décomposée, ont une très forte teneur en eau et sont très perméables.

Il y a deux sortes de sols minéraux

Certains sols minéraux se forment à partir d'un matériau d'origine qui se décompose sur place en petites particules par suite de l'altération. On les appelle **sols résiduels**.

D'autres sols minéraux se forment à partir de petites particules provenant de sols minéraux situés ailleurs, qui ont été transportées sur une certaine distance et qui se sont déposées. On les appelle **sols sédimentaires**.

Sols formés à partir d'un matériau original local: sols résiduels

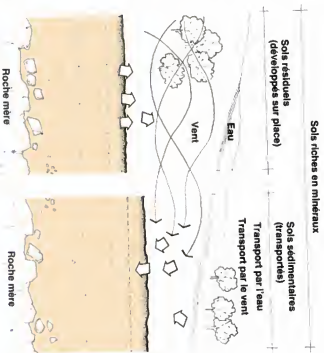
Les sols résiduels se trouvent généralement dans les collines: ils s'étendent jusqu'au bas des versants, le long des bords des vallées. Il est rare que l'on trouve des sols résiduels sur de grandes étendues planes. Ils se situent le plus souvent dans des zones allant de la pente douce aux escarpements abrupts. La présence de roches entières ou de débris rocheux partiellement décomposés dans le sous-sol indique que le sol résiduel s'est formé sur place.

Sols provenant d'un matériau original transporté: sols sédimentaires

Les particules de sol composant les sols sédimentaires peuvent avoir été transportées soit par le vent soit par l'eau.

- Si les particules ont été **transportées par le vent**, le sol provient d'un **loess**, qui est généralement le meilleur sol agricole superficiel enlevé à d'autres régions par le vent. On le trouve fréquemment dans les reliefs ondulés ou vallonnés. Le loess est souvent très fertile et contient une quantité importante de matière organique jusqu'à de grandes profondeurs.

- Si les particules ont été **transportées par l'eau**, le sol provient d'**alluvions**, et le sol sédimentaire qui en résulte est un **sol alluvial**. Le sol peut être emporté par de l'eau en mouvement, comme la pluie, les rivières ou les marées. Le phénomène de sédimentation peut se produire dans une eau stagnante: lac, marécage ou mer. L'eau peut être douce ou salée (continental, côtière, d'estuaire ou de delta). Le transport peut avoir eu lieu, parfois, ou être encore en cours.



Les **alluvions anciennes** sont déposées depuis assez longtemps pour que l'on puisse distinguer les couches correspondant aux stades de formation successifs. Elles se trouvent généralement bien au-dessus du niveau actuel des crues. La topographie qui les accompagne est le plus souvent plane ou en pente douce.

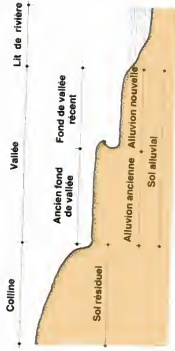
Les **alluvions récentes** se trouvent dans les plaines d'inondation. Elles ont été amenées par des crues récentes et sont susceptibles d'être encore inondées. Les couches de sol sont difficilement visibles. Le relief est généralement plat, mais peut aussi comporter de légers creux et bosses. Ces sols sont habituellement très fertiles.

Note. Un endroit qui était occupé, il y a des milliers d'années, par la mer ou par un lac peut porter aujourd'hui une forêt ou une savane. Le sol sera un sol alluvial, même si l'eau s'est retirée.

Les **sols alluviaux** présentent le plus grand intérêt pour la pisciculture. On les trouve dans des zones appelées **plaines de sédimentation**, où le relief est généralement en pente douce ou presque plat. Cela veut dire que la construction des éangs ne nécessitera qu'un minimum de travaux de terrassement. La composition d'un sol alluvial est souvent telle que la teneur en argile est suffisante pour retenir l'eau et permettre la construction des diguettes. Une source d'eau est habituellement proche, mais ce n'est pas toujours le cas. On rencontre des sols alluviaux :

- Dans les plaines inondables de rivières sujettes à des crues saisonnières.
- Dans les deltas, où l'on trouve à la fois des dépôts fluviaux et une nappe phréatique permanente élevée.
- Dans les estuaires de rivières, où le mouvement des marées dans la zone de transition entre les eaux douces et les eaux marines influe sur la sédimentation.
- Dans les plaines côtières, où les marées apportent des dépôts marins.

Exemple



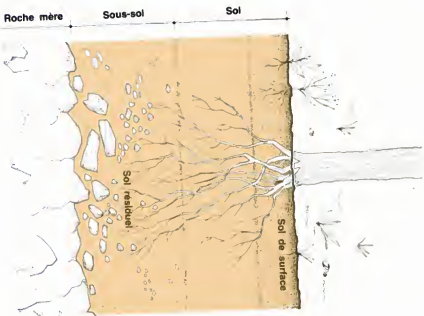
14 Sol et sous-sol des sols minéraux

Quand le sol a évolué pendant un certain temps, il présente généralement deux couches horizontales principales, ou **strates**, qui recouvrent la roche mère. La strate de surface constitue le sol, qui se compose du sol superficiel et du sol proprement dit. La strate plus profonde constitue le sous-sol.

La strate de surface: sol

C'est la couche où se produisent la plupart des activités biologiques: fouissements d'animaux, déjections, croissance des racines, décomposition de la matière organique et activités agricoles de l'homme. La position de la strate de surface est influencée par le climat, la circulation de l'air, de l'eau et des éléments chimiques. Y est plus intense et le sol plus meuble. Comme l'eau entraîne en profondeur les matières minérales et organiques proches de la surface, on peut distinguer dans cette strate superficielle deux couches plus minces qui sont:

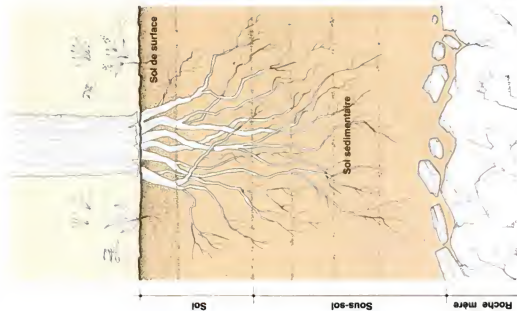
- Le **sol superficiel**, ou couche de couverture, généralement peu profond et parfois cultivé par l'homme. Le sol superficiel est constitué de matière organique et abrite la plupart des racines nourricières. Il est de couleur plus sombre et peut même, dans certains cas, être noir. Au fond de ce sol superficiel, on observe parfois une petite couche de gravier.
- Le **sol proprement dit**, la seconde couche, de couleur plus claire et qui contient les racines des végétaux plus importants, tels que les arbres et les arbustes.



La strate inférieure: sous-sol

C'est la couche plus profonde où seules pénètrent les racines des grands arbres. La circulation de l'air, de l'eau et des éléments chimiques y est restreinte et le sol est dur. L'aspect général du sous-sol varie selon son origine:

- Si c'est un **sol résiduel**, le nombre de pierres augmente rapidement vers le fond du sous-sol jusqu'à la roche mère.
- Si c'est un **sol sédimentaire**, les couches du sol sont plus minces. Chacune peut avoir sa composition propre selon la façon dont elle s'est déposée. Ces sols sont généralement assez épais, et la roche mère se trouve à plusieurs mètres au-dessous de la surface.



Exemples

15 Horizons des sols minéraux

Il existe de nombreux types de sols différents

Vous avez appris dans la section 13 qu'il existe de nombreux types de sols et de nombreuses variantes pour ces différents types de sols. Les sols peuvent être peu épais ou très profonds, ils peuvent être les "sols sables" ou salins, murs ou jeunes. Les caractéristiques du sol varient selon :

- Les conditions locales, telles que le relief, le climat, la végétation et les activités humaines.

- La nature du matériau à partir duquel le sol s'est formé.

- La durée de formation du sol.

Relief:

Les terres en pente ont un sol peu profond. Les terrains plats ont un sol profond.

Climat:

Les zones pluvieuses ont un sol lessivé. En effet, l'eau, en s'infiltrant, entraîne les matériaux solubles. Les zones arides ont un sol salin car l'évaporation concentre les sels.

Végétation:

Les sols couverts d'une végétation forestière contiennent beaucoup de matière organique. Les sols qui ont été auparavant exposés aux effets directs de températures élevées et de fortes précipitations, comme les sols de savane, contiennent moins de matière organique.

Activités humaines:

Le défrichage des forêts, les travaux d'assainissement des terres, l'irrigation et les autres activités agricoles modifient les sols.

Exemple

Les sols résiduels diffèrent des sols sédimentaires. Des matériaux d'origine aussi divers que le granite, le basalte, le gneiss et le mica schiste se transforment en sols de types différents.

Exemple

Les sols murs sont des sols anciens et pleinement évolués. Les sols jeunes sont des sols récents qui continuent à évoluer.

Les horizons du sol sont des couches dont les caractéristiques varient pour chaque type de sol

Autant il y a de sols et de variantes de ces sols, autant il y a de variantes dans les horizons qui caractérisent tous les sols. Le nombre, l'épaisseur, la couleur et les caractéristiques physiques et chimiques des couches de sol varient d'un endroit à l'autre.

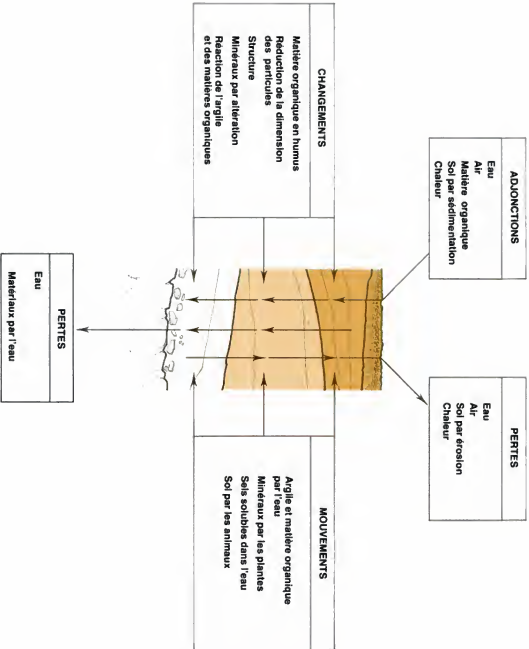
Les couches principales étudiées dans la section 14, à savoir le sol et le sous-sol, se subdivisent en couches plus minces appelées **horizons majeurs**. Chaque horizon principal peut à son tour être subdivisé en **horizons secondaires**.

Comment les horizons du sol se forment-ils ?

Les propriétés physiques de la strate située entre la surface et une profondeur d'environ 1,5 à 2 m, parfois plus, subissent l'influence des variations saisonnières de la teneur en eau et de la température, ainsi que de divers agents biologiques tels que racines, vers, insectes et bactéries (voir page 15).

La partie supérieure du sol minéral, ou **horizon majeur A**, est sujette aux effets mécaniques de l'altération et à la perte, par lessivage, de certains de ses composants. Dans la partie inférieure de la strate, de **certains horizons majeurs B**, certaines substances issues de la strate, ou **horizons**, entraînés en profondeur par lessivage se précipitent et s'accumulent (voir photographies en couleurs).

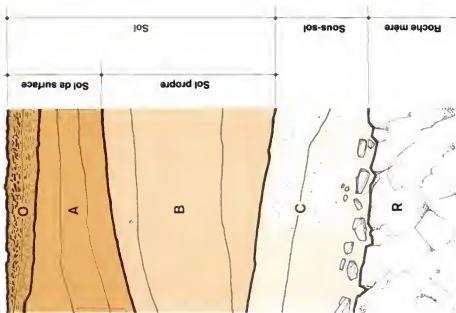
Au-dessous de l'horizon majeur B, le caractère du sol dépend du type de roche mère dont il est dérivé, de la manière dont il s'est déposé et des phénomènes géologiques successifs.



Comment ces horizons sont-ils identifiés?

Exemple

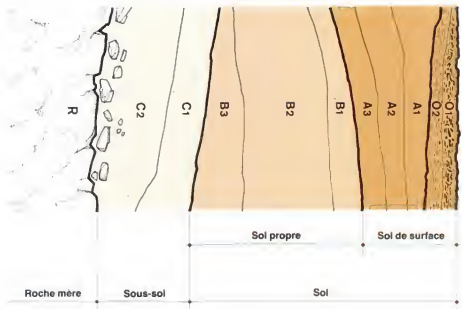
HORIZONS MAJEURS



Le système d'identification utilisé par les pédologues pour désigner les horizons du sol est complexe. Nous utiliserons le système simplifié représenté dans le **tableau 1**, qui désigne les **horizons majeurs** par les lettres majuscules H, O, A, E, B, C et R.

Exemple

HORIZONS SECONDAIRES



Les horizons secondaires sont désignés en ajoutant un nombre à la lettre de l'horizon majeur. On a appliqué ce système à chaque horizon majeur, dans un ordre qui va du haut vers le bas. L'horizon majeur B, par exemple, peut se subdiviser en horizons secondaires B1, B2, B3...

TABLEAU 1

Définitions simplifiées et désignations des horizons majeurs

SYMBOLE	HORIZON MAJEUR
H	Horizon organique formé (ou en voie de formation) par accumulation de matière organique déposée en surface. Il contient au moins de 20 à 30 pour cent de matière organique, sa composition dépendant du type de végétation dont provient la matière organique. Il ne peut se former qu'en l'absence d'air, quand les sols sont continuellement saturés d'eau.
O	Horizon organique semblable au précédent, à la seule différence qu'il n'est pas saturé d'eau plus de quelques jours par an. Il contient au moins 35 pour cent de matière organique, constituée généralement de matière organique partiellement décomposée.
A	Horizon minéral formé (ou en voie de formation) à la surface du sol ou au voisinage immédiat de celle-ci. Il présente soit une accumulation de matière organique humifiée (<i>humus</i>) intimement associée à la fraction minérale, soit une morphologie résultant de la formation du sol. Il est de couleur un peu plus sombre que l'horizon B sous-jacent, la matière organique décomposée et le matériau minéral se mélangeant sous l'effet de l'activité biologique.
E	Horizon éluvial , situé au-dessous d'un horizon H, O ou A. Il contient moins de matière organique, présente une accumulation de minéraux résistant à l'altération météorologique et a une couleur plus claire. Il s'est formé par suite d'une perte de fer, d'argile fine, etc., qui ont été transportés et se sont accumulés dans l'horizon B sous-jacent.
B	Horizon minéral où des particules minérales (seules ou combinées à l' <i>humus</i>) se sont concentrées avec le temps.
C	Horizon minéral composé d'un matériau non consolidé à partir duquel le sol s'est formé. Il peut aussi inclure un fond graveleux et pierveux favorable au développement des racines.
R	Couche de roche indurée continue , suffisamment cohérente à l'état humide pour qu'on ne puisse la creuser à la bêche. Cette roche peut être fissurée, mais les fissures y sont trop rares et trop petites pour que les racines puissent s'y développer. En fait, il ne s'agit pas d'un véritable horizon pédologique.

Identification des horizons pédologiques: le profil du sol

La méthode la plus facile pour identifier et décrire les différents horizons d'un sol est d'observer un profil frais. Le **profil du sol** est une coupe verticale qui met en évidence l'épaisseur et la succession des différents horizons (voir section 22: Méthodes d'échantillonnage des sols). Pour identifier les horizons d'un sol, procédez comme suit:

- Observez le profil du sol et identifiez les **horizons majeurs**.
- Faites un croquis du profil du sol montrant les horizons majeurs. Donnez un nom à chaque horizon majeur, selon les indications du tableau.
- Étudiez chaque horizon majeur séparément et, s'il y en a, identifiez les **horizons secondaires**. Désignez les horizons secondaires en les numérotant dans l'ordre, du haut vers le bas de chaque horizon majeur, selon les indications du tableau.
- Quand vous avez terminé le croquis du profil du sol, mesurez la **profondeur** à laquelle se trouvent le haut et le bas de chaque horizon et notez ces profondeurs sur votre croquis. Les profondeurs se mesurent en centimètres, de la surface (immédialement au-dessus de la couche de feuilles ou de végétation non décomposée) à la limite supérieure de chaque horizon et à sa limite inférieure.

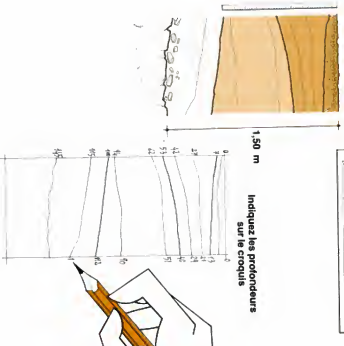
Note. Si vous constatez que la largeur de l'horizon varie dans le profil, ajoutez une note indiquant l'amplitude de cette variation. Sur l'illustration, le haut de l'horizon secondaire B2 est situé entre 51 et 62 cm et le bas entre 90 et 94 cm. La largeur de l'horizon secondaire varie donc de 32 à 39 centimètres.

Identifiez, dessinez et marquez chaque horizon majeur



Meurez
chaque horizon

1,50 m
Indiquez les profondeurs
sur le croquis



16 Composition du sol

Vous avez déjà appris, à la section 11, que le sol est un mélange complexe d'organismes vivants, de matière organique, de minéraux, d'eau et d'air. Dans la présente section, vous en apprendrez un peu plus sur quelques-uns de ces composants du sol.

La matière organique contenue dans le sol

Une partie de la matière organique est visible à l'œil nu: ce sont par exemple de petites feuilles, des brindilles, des bouts de bois pourri et des vers. L'autre partie est si fine qu'on ne la voit pas: c'est ce qu'on appelle l'**humus**, présent dans le sol à l'état **colloïdal***. L'humus provient de végétaux et d'animaux morts qui se décomposent dans le sol. Vous ne pouvez le voir comme vous pouvez voir les minéraux, mais vous savez qu'il y en a dans le sol à cause de sa couleur. L'humus donne au sol une couleur plus foncée que d'habitude, et même parfois noire (voir photographies en couleurs). Les particules d'humus ont la propriété d'attirer fortement à leur surface les minéraux du sol par **adsorption***.

Les minéraux du sol

Les minéraux sont présents sous forme de particules de tailles différentes. Dans certains cas, ces particules s'agglutinent pour former des masses de taille plus grande. Les particules minérales portent des noms différents selon leur taille: **blobs, pierres, cailloux, gravier, sable, limon, argile**. Certaines de ces particules sont facilement visibles, mais celles qui sont plus fines, comme le limon ou l'argile, ne sont visibles qu'au microscope. Les particules les plus fines du sol, qu'on appelle **argiles colloïdales***, sont invisibles. Les particules d'argile colloïdale ont la propriété d'attirer fortement à leur surface les minéraux du sol par **adsorption***.

Les particules minérales sont classées en fonction de leur calibre. Les systèmes de classification varient selon les pays et le but de l'étude (ouvrages de génie civil, agriculture ou conservation des sols), mais on essaie de les normaliser. Le **tableau 2** présente quelques systèmes de classification.

Matière organique dans le sol



Minéraux dans le sol

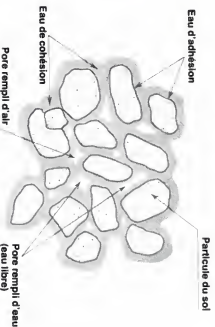


L'eau du sol

L'eau peut être présente dans le sol sous deux formes: l'eau libre et l'eau fixée. On trouve l'eau libre dans les **poros du sol**. L'eau fixée est soit attachée aux particules de sol sous la forme d'une pellicule (eau de **cohésion**) soit **adsorbée** à la surface de la particule de sol (eau d'**adhésion**).

La **perméabilité du sol** est le mouvement de l'eau libre à travers les pores, les fissures et les trous du sol. Ce sujet sera abordé plus en détail au chapitre 9. L'eau fixée peut jouer un rôle très important, particulièrement quand les particules de sol sont très fines, en raison de son influence directe sur les propriétés mécaniques des sols, notamment sur le potentiel de contraction-gonflement (voir section 104). Quand les particules de sol sont très fines, comme dans le cas des particules d'argile, l'eau et les éléments chimiques peuvent être fortement adsorbés à leur surface. La teneur en eau des argiles peut donc varier considérablement. Les particules d'argile peuvent adsorber jusqu'à 600 pour cent de leur poids sec, soit un **gonflement** correspondant à 10 fois leur volume initial à l'état sec (voir section 104).

Eau dans le sol



L'air contenu dans le sol

Les sols contiennent aussi une certaine proportion d'air dans les pores libres qui séparent les particules de sol dans les grumeaux et les agrégats. L'action d'organismes vivants, tels que les vers, les termites, les fourmis, les rongeurs et les racines des végétaux, contribue également à introduire de l'air dans les fissures et les trous.

Le volume d'air contenu dans le sol dépend en grande partie de la nature physique du sol, de sa teneur en eau, de son degré relatif de **compactage**, et de l'importance et la nature des activités des organismes vivants.

Porosité moyenne
en pourcentage du volume total

Sable	38
Limon sableux	43
Limon	47
Limon argileux	49
Argile siliceuse	51
Argile	53

Comparaison des systèmes de classification des particules minérales du soi

• L'USC classe l'arcile et le limon (silt) dans une seule catégorie appelée « fins ».

NOTE. Symboles utilisés pour le limon (silt).

symboles utilisés pour
l'indication et la gravure

7068

11

G = growth

² Département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA)

^a Société américaine pour les essais de matériaux (ASTM)

Bureau des soldes des Etats-Unis (US\$S)

⁶ Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

et Institut britannique de normalisation (BSI)

— système unifié de classification des sols (USC);
— Corps des Ingénieurs des États-Unis (USCE).

Bureau de mise en valeur des terres des

17 Principaux types de sols

Nous avons déjà vu dans la section 13 que les sols sont soit minéraux, soit organiques, selon leur origine. Les sols minéraux proviennent de la roche mère et évoluent soit sur place (sols résiduels), soit après transport (sols sédimentaires). Les sols organiques résultent généralement de l'accumulation de matériaux végétaux.

Nous avons appris aussi que les éléments constitutifs des sols sont de nature diverse. En particulier, le calibre des différents matériaux peut varier considérablement d'un sol à l'autre. À partir de l'élément constitutif principal d'un sol, il est possible de définir comme suit les principaux types de sols.

Gravier et sable

Le sable et le gravier sont généralement, parmi les particules qui composent le sol, celles que l'on reconnaît le plus facilement car ce sont des morceaux non cohérents de roche visible. Si vous prenez un peu de sable sec dans la main, il coule entre vos doigts comme de l'eau car le sable n'est pas un matériau stable. Les sols sableux sont aisés à travailler car ils ne collent pas aux outils. L'air et l'eau y circulent très facilement. La différence entre gravier et sable est une question de calibre, comme on le voit dans le **tableau 2**. Dans le présent manuel, nous utiliserons les dimensions suivantes:

- Les particules de **sable** ont un diamètre inférieur à 0,2 cm (ou 2 mm).
- Les particules de **gravier** ont un diamètre compris entre 0,2 et 7,5 cm.
- On donne généralement aux particules ayant un calibre supérieur au gravier le nom de **pierres** (de 7,5 à 25 cm) ou de **blocs** (de diamètre supérieur à 25 cm).

Limon inorganique

Les particules de limon (silt) sont beaucoup plus petites que les particules de sable; elles ne sont **pas visibles** à l'œil nu et sont bien plus rapprochées les unes des autres. Le limon ne laisse pas passer l'eau aussi facilement que le sable et il est moins perméable. Si vous écrasez du limon sec, il se transformera en poudre, plus grossière cependant que la poussière d'argile. Les sols limoneux ne se fissurent pas en séchant et ne collent pas aux outils quand ils sont mouillés. Ils sont plus difficiles à travailler que les sols sableux, mais moins que les sols argileux.

Note. Le limon inorganique a un aspect lisse, comme l'argile avec laquelle on le confond souvent. Mais sur le terrain, on peut facilement le distinguer de l'argile grâce au **test des secousses**, décrit à la page 73. Il est important de faire cette distinction car certains sols limoneux peuvent devenir très instables quand ils sont mouillés, quand on s'en sert par exemple pour la construction de digues et que l'eau les recouvre. L'argile, au contraire, est un matériau de construction stable.

Limon organique

Les particules de limon inorganique sont mêlées à des particules finement divisées de matière organique, dont certaines sont encore reconnaissables, comme des coquillages ou des substances végétales. La couleur du sol varie du gris clair au gris très sombre. Généralement, le limon organique a une odeur de matière organique en décomposition.

Argile inorganique

L'argile est l'**élément le plus fin** du sol; certaines de ses particules ne sont même pas visibles au microscope. C'est un **bon liant** pour l'eau et les substances chimiques. La plupart des argiles sont facilement reconnaissables car elles se fissurent en perdant de l'eau et forment des morceaux très durs. L'argile adsorbe l'eau très lentement, mais une fois qu'elle l'a adsorbée, elle peut en retenir une grande quantité. Elle peut gonfler et plus que doubler de volume. A l'état humide, l'argile devient très collante; si vous en prenez dans la main, elle adhèrera à

vos doigts. Les sols argileux mouillés sont souvent trop collants pour qu'on puisse les travailler; par contre, quand ils sont secs ils sont trop durs.

Note. Vous pouvez voir la différence entre une argile inorganique et un limon inorganique en faisant le test des secousses décrit à la page 73. Quand on frotte entre les doigts de l'argile sèche, aucune poudre n'en sort. L'argile inorganique diffère aussi par sa couleur d'ordinaire jaune, rouge ou blanche.

Argile organique

C'est une argile qui contient de la matière organique finement divisée. Elle est généralement de couleur gris foncé ou noire. L'argile organique a souvent une forte odeur de matière organique en décomposition.

Tourbe

La tourbe est un sol véritablement organique (voir page 8 et photographies en couleurs), constitué de fragments visibles de matériaux végétaux décomposés. Sa couleur va du brun clair au noir. Elle a une odeur de matière organique.

Note. La majeure partie des types de sols sont le plus souvent composés d'une combinaison de deux types de sols différents. On les appelle des **sols composites** et on les désigne en fonction de leurs constituants principaux et secondaires.

Sol composite	Sol composite	
	Matériau dominant	Matériau secondaire
Limon argileux	Limon	Argile
Sable siliceux	Sable	Limon (silt)
Argile sableuse	Argile	Sable

18 Quelques exemples d'appellations particulières données aux sols

Hardpan

C'est un sol qui oppose une résistance particulièrement forte aux outils de forage. C'est souvent un sol minéral très dense, constitué d'argile, de sable et de gravier, qui s'est cimenté jusqu'à former une couche dure comme du roc. L'eau ne l'ameublissant pas et il faut user d'une pioche pour le creuser (voir photographies en couleurs).

Loess

C'est un sédiment d'origine éolienne, de couleur généralement brun clair. La plupart de ses particules sont de très petit calibre (0,01 - 0,05 mm). Ses particules s'agglomèrent fortement grâce à la présence d'un matériau liant calcaire ou argileux. Les racines y pénètrent et s'y étendent de façon importante.

Bentonite

C'est une argile à forte teneur en **montmorillonite***, qui est une argile très fine. La bentonite est généralement le résultat de modifications chimiques de cendres volcaniques. Quand on y ajoute de l'eau, la bentonite sèche gonfle davantage que d'autres argiles sèches. Mais en séchant, elle se contracte aussi davantage. On peut utiliser la bentonite pour colmater le fond des étangs qui ne sont pas assez imperméables.

Terre noire à coton

C'est un sol argileux lourd contenant, en général, de 40 à 50 pour cent d'argile, surtout de la **montmorillonite***, peu de matières organiques et une forte proportion de carbonate de calcium. Sa couleur varie entre le gris clair et foncé, le noir ou le bleu-noir (voir photographies en couleurs). Quand le sol est mouillé, il devient très collant et très meuble; il augmente de volume, et sa stabilité est réduite. Lorsqu'il sèche, il se contracte énormément, de 20 à 30 pour cent. De larges fissures apparaissent à la surface et peuvent atteindre une profondeur de 3 m.

L'épaisseur de ce type de sol est généralement comprise entre 1 et 3,6 m, parfois davantage. On le trouve souvent dans les climats chauds et relativement secs. En Inde, ce sol est appelé «regur».

Sol latéritique

C'est l'ancien nom donné à un sol tropical très uniforme, typique des régions tropicales humides. Une altération intensive et prolongée entraîne le **lessivage*** d'éléments chimiques (comme la silice), l'accumulation de sels de fer et d'aluminium, et la formation d'argiles. L'activité biologique y est intense, en particulier dans les forêts, et les systèmes racinaires y sont très étendus. La couleur de ce sol est habituellement rougeâtre ou jaunâtre. Quand une nappe souterraine agit dans la zone comprise entre 0 et 125 cm, il s'y forme en général un matériau argileux riche en fer et terme (la **plinthite***), qui a l'apparence de **taches*** rouges (voir photographies en couleurs). Exposé à l'air, ce matériau se dessèche et durcit irrémédiablement (latérite ou «craie ferrugineuse»), formant un **hardpan** (voir plus haut) ou des concrétions dures.

Sol à sulfates acide

Ce sol se caractérise par une forte **acidité** (pH inférieur à 4) (voir section 41) et par la présence de **taches** jaunes généralement abondantes (voir section 51 et photographies en couleurs). Ces taches indiquent la présence d'un composé de sulfate de fer (jarosite) qui s'est formé, sous l'action de l'air (**oxydation***) et de bactéries, à partir d'un minéral contenant du fer et de la pyrite sulfurée. Ce genre de sol se trouve soit dans des zones salines telles que les mangroves côtières. Les sols à sulfates d'eau douce telles que les plaines de rivières. Les sols à sulfates acides d'eau douce sont très répandus en Asie du Sud-Est, par exemple dans la plaine des Juncos, le delta du Mékong et la plaine de Bangkok, en Thaïlande. L'utilisation de ces sols pour la pisciculture doit être étudiée avec soin (voir section 42).

2 PRÉPARATION ET EXÉCUTION D'UNE PROSPECTION PÉDOLOGIQUE

20 But de la prospection pédologique

Le but visé, quand on entreprend une prospection pédologique, est d'obtenir une image représentative des divers types de sols et des horizons qui se trouvent sur l'emplacement où vous voulez construire des étangs de pisciculture. Si vous voulez économiser du temps, des efforts et de l'argent, il faut vous y prendre le plus tôt possible. L'étude du sol devrait se faire avant l'achat du terrain, qui pourrait se révéler impropre à la construction d'étangs, et avant l'établissement des plans de la ferme piscicole.

21 Échantillons de sol

De quelle sorte d'échantillons de sol avez-vous besoin ?

Il y a deux façons de prélever des échantillons de sol, selon le genre de tests qui doivent être faits. On distingue :

- **Les échantillons perturbés**, qui ne représentent pas tout à fait le sol dans l'état naturel qu'il avait avant l'échantillonnage.
- **Les échantillons intacts**, qui représentent exactement le sol à l'état naturel, avant l'échantillonnage.

Les échantillons perturbés sont utilisés pour les essais simples, en particulier pour ceux que vous ferez vous-même *in situ*. Des échantillons intacts sont nécessaires pour les essais plus complexes qui seront faits en laboratoire et sont destinés à des analyses physiques et chimiques plus précises. Les échantillons intacts doivent être prélevés très soigneusement, car ils doivent être l'image exacte de la nature du sol. Pour une étude complète des sols de votre terrain, il vous faudra aussi bien des échantillons perturbés que des échantillons intacts.

A quelle profondeur devez-vous prélever des échantillons de sol?

Pour les besoins de l'aquaculture, on prélève généralement les échantillons de sol jusqu'à 2 m de profondeur. Cela permet d'examiner chacun des horizons présents sur cette épaisseur. Si la nappe phréatique se trouve à moins de 2 m, les échantillons doivent être pris jusqu'à la plus grande profondeur possible.

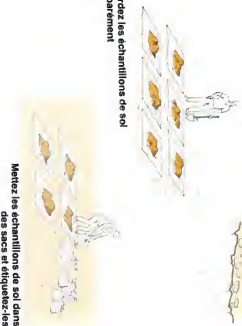
Quelles sont les précautions à prendre quand on prélève des échantillons de sol?

- **Échantillonnez tous les horizons** qui ont plus de 10 cm d'épaisseur. Tous les échantillons doivent correspondre à des horizons ou stratifications naturels du sol. Les prélèvements ne doivent pas être faits à des profondeurs arbitraires.
- **Si vous devez examiner et comparer** les échantillons du sol au moment du prélèvement, ayez soin de les ranger en tas séparés afin d'éviter de confondre les différents échantillons, et placez chaque tas sur une feuille de plastique ou un journal pour qu'il ne se mélange pas à d'autres matériaux, tels que feuilles, litière ou gravier, qui pourraient se trouver sur le sol.
- **Si vous n'avez pas l'intention d'examiner et de comparer** les échantillons du sol au moment de leur prélèvement, placez-les immédiatement dans de solides sacs en plastique ou dans des sacs de toile doubles de plastique; fermez les sacs hermétiquement.
- **Étiquetez tous les sacs** contenant les échantillons soigneusement et de façon complète. Indiquez clairement sur l'étiquette le numéro d'identification du lieu d'échantillonnage, la profondeur supérieure et inférieure de l'horizon échantillonné et la date.

Echantillonnez tous les horizons de plus de 10 cm d'épaisseur



Gardez les échantillons de sol séparément



Mettez les échantillons de sol dans des sacs et étiquetez-les

Lieu
 Profondeur supérieure _____
 Profondeur inférieure _____
 date _____

Une étiquette pour un échantillon de sol

Echantillons de sol destinés aux analyses chimiques

- Chaque échantillon prélevé aux fins d'analyse chimique devrait peser environ 1 kg, sauf en ce qui concerne les sols à gravier pour lesquels l'échantillon doit être suffisamment volumineux pour contenir au **moins 100 g de terre fine** (particules de diamètre inférieur à 2 mm).
- Enlevez les pierres et les gros morceaux de matière organique, comme les feuilles et les racines, des échantillons de sol superficiel.
- Évitez de mélanger des échantillons provenant d'horizons différents.
- Pour prendre des échantillons d'un profil de sol dans une fosse à ciel ouvert, procédez de la façon décrite dans la section 22.

Que faire de vos échantillons de sol?

- Vous pouvez procéder vous-même, sur place, à des essais simples. On vous expliquera plus loin comment procéder sur le lieu d'échantillonnage.
- Vous pouvez prélever les échantillons puis les apporter à un laboratoire pédologique, qui fera des analyses physiques et chimiques plus détaillées. Ces laboratoires existent auprès de certaines universités (écoles d'agronomie ou de génie civil, par exemple) et auprès des services de l'agriculture, des forêts ou des travaux publics.

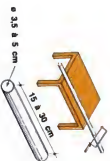
Rappelez-vous ceci:

- Pour les **analyses chimiques**, on peut utiliser un échantillon perturbé.
- Pour les **analyses physiques**, l'échantillon peut dans certains cas être perturbé, mais doit être intact dans d'autres cas, comme décrit dans la note à la fin de la section 31.

22 Méthodes d'échantillonnage des sols

Si vous avez décidé de prélever des échantillons à des profondeurs différentes, vous pouvez utiliser trois méthodes qui consistent soit à creuser, soit à forer, soit à extraire un échantillon aux endroits que vous avez choisis. Ce sont :

- La méthode de la fosse à ciel ouvert
- La méthode du forage à la tarière
- La méthode du tube à paroi mince



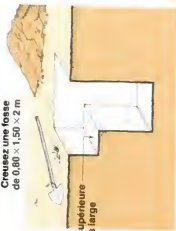
Méthode de la fosse à ciel ouvert

La méthode qui consiste à creuser une fosse à ciel ouvert est le seul moyen dont on dispose pour observer concrètement et étudier un profil pédologique tel qu'il se présente naturellement. La fosse peut être creusée à la main ou avec un outillage spécial, comme une pelle mécanique. Vous pouvez ainsi, en cas de nécessité, obtenir des échantillons intacts d'horizons choisis dans une fosse à ciel ouvert.

Pour creuser une fosse à ciel ouvert, la marche à suivre est la suivante :

- Creusez un trou, aux parois très droites de $0,80 \times 1,50$ m, et de 2 m de profondeur, ou moins si vous arrivez à la roche mère. La partie supérieure de la fosse doit être assez large pour que vous puissiez en voir facilement le fond. Le croquis vous montre comment procéder.
- Si vous avez choisi un emplacement caractérisé par un sol alluvial, vous rencontrerez peut-être la **nappe d'eau souterraine** avant d'atteindre 2 m. Si vous trouvez de l'eau, il est impossible de creuser plus profond, mais prenez les échantillons aussi profondément que possible.
- Quand vous avez fini de creuser, examinez attentivement l'une des parois les mieux exposées de la fosse pour identifier les différents horizons du sol, c'est ce qu'on appelle le **profil du sol**; il convient de l'examiner alors qu'il est fraîchement creusé. Faites un croquis de ce profil pour chacune des fosses que vous creusez, mesurez et inscrivez la profondeur du sommet et de la base de chaque horizon. N'oubliez pas d'indiquer sur le croquis l'endroit où l'échantillon a été pris.

Creusez une fosse
de $0,80 \times 1,50 \times 2$ m



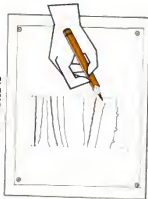
Partie supérieure
plus large

Examinez le profil du sol



Eau souterraine

Dessinez chaque profil
et annotez-le



15 Horizons des sols minéraux

13. Différents types de sols différents

Il existe de nombreux types de sols. Vous avez appris dans la section 13 qu'il existe de nombreux types de sols. Vous avez aussi appris qu'il y a de nombreuses variétés pour ces différents types de sols et de nombreuses variétés pour ces différents types de sols. Les sols peuvent être peu épais ou très profonds. Ils peuvent être très secs ou très humides. Ils peuvent être très salés ou très doux. Les caractéristiques du sol varient selon :

- **Les conditions locales**, telles que le relief, le climat, la végétation et les activités humaines.

- La nature du matériau à partir duquel le sol s'est formé

- La durée de formation du sol.

Exemples

Relief:

Les terres en pente ont un sol peu profond. Les terrains plats ont un sol profond.

Climat:

Les zones pluvieuses ont un sol riche. En effet, l'eau, en s'infiltrant, entraîne les matériaux solubles. Les zones arides ont un sol salin car l'évaporation concentre les sels.

Vegetation:

Les sols couverts d'une végétation forestière contiennent beaucoup de matière organique. Les sols qui ont été auparavant exposés aux effets directs de températures élevées et de fortes précipitations, comme les sols de savane, contiennent moins de matière organique.

Activités humaines:

Le défrichage des forêts, les travaux d'assainissement des terres, l'irrigation et les autres activités agricoles modifient les sols.

Exemple

Les sols résiduels diffèrent des sols sédimentaires. Des matériaux tels que le granite, le basalte, le gneiss ou le mica-schiste, se transforment en sols de types différents, en fonction de leur composition chimique et de leur structure.

Exemple

Les sols mûrs sont des sols anciens et pleinement évolués. Les sols jeunes sont des sols récents qui continuent à évoluer.

Les horizons du sol sont des couches dont les caractéristiques varient pour chaque type de sol

Autant il y a de sols et de variantes de ces sols, autant il y a de variantes dans les horizons qui caractérisent tous les sols. Le nombre, l'épaisseur, la couleur et les caractéristiques physiques et chimiques des couches de sol varient d'un endroit à l'autre.

Les couches principales étudiées dans la section 14, à savoir le sol et le sous-sol, se subdivisent en couches plus minces appelées **horizons majeurs**. Chaque horizon principal peut à son tour être subdivisé en **horizons secondaires**.

Comment les horizons du sol se forment-ils ?

Les propriétés physiques de la strate située entre la surface et une profondeur d'environ 1,5 à 2 m, parfois plus, subissent l'influence des variations saisonnières de la teneur en eau et de la température, ainsi que de divers agents biologiques tels que racines, vers, insectes et bactéries (voir page 15).

La partie supérieure du sol minéral, ou **horizon majeur A**, est sujette aux effets mécaniques de l'altération et à la perte, par lessivage, de certains de ses composants. Dans la partie inférieure de la strate, ou **horizon majeur B**, certaines substances issues de la strate, ou **horizons** entraînés en profondeur par lessivage se précipitent et s'accumulent (voir photographies en couleurs).

Au-dessous de l'horizon majeur B, le caractère du sol dépend du type de roche mère dont il est dérivé, de la manière dont il s'est déposé et des phénomènes géologiques successifs.

ADJONCTIONS
Eau Air Matière organique Sol par sédimentation Chaleur

PERTES
Eau Air Sol par érosion Chaleur

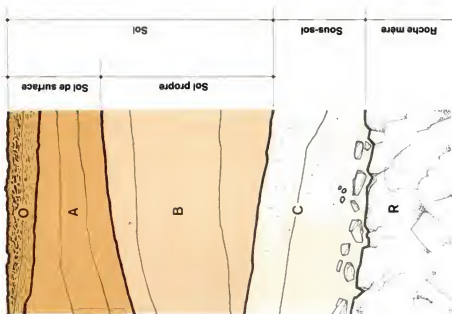


PERTES
Eau Matériaux par l'eau

Comment ces horizons sont-ils identifiés?

Exemple

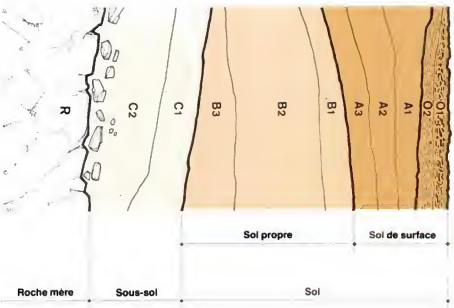
HORIZONS MAJEURS



Le système d'identification utilisé par les pédologues pour désigner les horizons du sol est complexe. Nous utiliserons le système simplifié représenté dans le **tableau 1**, qui désigne les **horizons majeurs** par les lettres majuscules H, O, A, E, B, C et R.

Exemple

HORIZONS SECONDAIRES



Les horizons secondaires sont désignés en ajoutant un nombre à la lettre de l'horizon majeur. On a appliqué ce système à chaque horizon majeur, dans un ordre qui va du haut vers le bas. L'horizon majeur B, par exemple, peut se subdiviser en horizons secondaires B1, B2, B3...

TABLEAU 1
Définitions simplifiées et désignations
des horizons majeurs

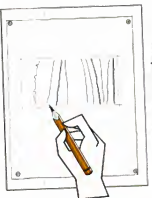
SYMBÔLE	HORIZON MAJEUR
H	Horizon organique formé (ou en voie de formation) par accumulation de matière organique déposée en surface. Il contient au moins de 20 à 30 pour cent de matière organique, sa composition dépendant du type de végétation dont provient la matière organique. Il ne peut se former qu'en l'absence d'air, quand les sols sont continuellement saturés d'eau.
O	Horizon organique semblable au précédent, à la seule différence qu'il n'est pas saturé d'eau plus de quelques jours par an. Il contient au moins 35 pour cent de matière organique, constituée généralement de matière organique partiellement décomposée.
A	Horizon minéral formé (ou en voie de formation) à la surface du sol ou au voisinage immédiat de celle-ci. Il présente soit une accumulation de matière organique humifiée (<i>humus</i>) intimement associée à la fraction minérale, soit une morphologie résultant de la formation du sol. Il est de couleur un peu plus sombre que l'horizon B sous-jacent, la matière organique décomposée et le matériau minéral se mélangeant sous l'effet de l'activité biologique.
E	Horizon éluvial , situé au-dessous d'un horizon H, O ou A. Il contient moins de matière organique, présente une accumulation de minéraux résistant à l'altération météorologique et a une couleur plus claire. Il s'est formé par suite d'une perte de fer, d'argile fine, etc., qui ont été transportés et se sont accumulés dans l'horizon B sous-jacent.
B	Horizon minéral où des particules minérales (seules ou combinées à l' <i>humus</i>) se sont concentrées avec le temps.
C	Horizon minéral composé d'un matériau non consolidé à partir duquel le sol s'est formé. Il peut aussi inclure un fond graveleux et pierreuse favorable au développement des racines.
R	Couche de roche indurée continue , suffisamment cohérente à l'état humide pour qu'on ne puisse la creuser à la bêche. Cette roche peut être fissurée, mais les fissures y sont trop rares et trop petites pour que les racines puissent s'y développer. En fait, il ne s'agit pas d'un véritable horizon pédologique.

Identification des horizons pédologiques: le profil du sol

La méthode la plus facile pour identifier et décrire les différents horizons d'un sol est d'observer un profil frais. Le **profil du sol** est une coupe verticale qui met en évidence l'épaisseur et la succession des différents horizons (voir section 22: Méthodes d'échantillonnage des sols). Pour identifier les horizons d'un sol, procédez comme suit:

- Observez le profil du sol et identifiez les **horizons majeurs**.
- Faites un croquis du profil du sol montrant les horizons majeurs. Donnez un nom à chaque horizon majeur, selon les indications du tableau.
- Étudiez chaque horizon majeur séparément et, s'il y en a, identifiez les **horizons secondaires**. Désignez les horizons secondaires en les numérotant dans l'ordre, du haut vers le bas de chaque horizon majeur, selon les indications du tableau.
- Quand vous avez terminé le croquis du profil du sol, mesurez la **profondeur** à laquelle se trouvent le haut et le bas de chaque horizon et notez ces profondeurs sur votre croquis. Les profondeurs se mesurent en centimètres, de la surface (immédiatement au-dessus de la couche de feuilles ou de végétation non décomposée) à la limite supérieure de chaque horizon et à sa limite inférieure.

Identifiez, dessinez et marquez
chaque horizon majeur

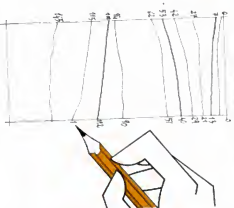


Mesurez
chaque horizon



1,50 m

Indiquez les profondeurs
sur le croquis



Note. Si vous constataiez que la largeur de l'horizon varie dans le profil, ajoutez une note indiquant l'amplitude de cette variation. Sur l'illustration, le haut de l'horizon secondaire B2 est situé entre 51 et 62 cm et le bas entre 90 et 94 cm. La largeur de l'horizon secondaire varie donc de 32 à 39 centimètres.

16 Composition du sol

Vous avez déjà appris, à la section 11, que le sol est un mélange complexe d'organismes vivants, de matière organique, de minéraux, d'eau et d'air. Dans la présente section, vous en apprendrez un peu plus sur quelques-uns de ces composants du sol.

La matière organique contenue dans le sol

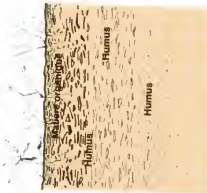
Une partie de la matière organique est visible à l'œil nu: ce sont par exemple de petites feuilles, des brindilles, des bouts de bois pourri et des vers. L'autre partie est si fine qu'on ne la voit pas: c'est ce qu'on appelle l'**humus**, présent dans le sol à l'**état colloïdal**. L'humus provient de végétaux et d'animaux morts qui se décomposent dans le sol. Vous ne pouvez le voir comme vous pouvez voir les minéraux, mais vous savez qu'il y en a dans le sol à cause de sa couleur. L'humus donne au sol une couleur plus foncée que d'habitude, et même parfois noire (voir photographies en couleurs). Les particules d'humus ont la propriété d'**attirer fortement** à leur surface les minéraux du sol par **adsorption**.

Les minéraux du sol

Les minéraux sont présents sous forme de particules de tailles différentes. Dans certains cas, ces particules s'agglutinent pour former des masses de taille plus grande. Les particules minérales portent des noms différents selon leur taille: **blocs, pierres, cailloux, gravier, sable, limon, argile**. Certaines de ces particules sont facilement visibles qu'au microscope. Les particules les plus fines du sol, qu'on appelle **argiles colloïdales***, sont invisibles. Les particules d'argile colloïdale ont la propriété d'**attirer fortement** à leur surface les minéraux du sol par **adsorption**.

Les particules minérales sont classées en fonction de leur calibre. Les systèmes de classification varient selon les pays et le but de l'étude (ouvrages de génie civil, agriculture ou conservation des sols), mais on essaie de les normaliser. Le **tableau 2** présente quelques systèmes de classification.

Matière organique dans le sol



Minéraux dans le sol



L'eau du sol

L'eau peut être présente dans le sol sous deux formes: l'eau libre et l'eau fixée. On trouve l'eau libre dans les pores du sol*. L'eau fixée est soit attachée aux particules de sol sous la forme d'une pellicule (eau de cohésion*) soit **adsorbée*** à la surface de la particule de sol (eau d'adhésion*).

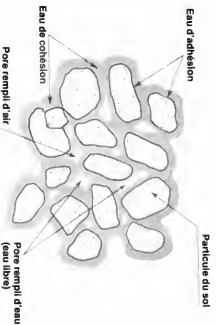
La **perméabilité du sol** est le mouvement de l'eau libre à travers les pores, les fissures et les trous du sol. Ce sujet sera abordé plus en détail au chapitre 9. L'eau fixée peut jouer un rôle très important, particulièrement quand les particules de sol sont très fines, en raison de son influence directe sur les propriétés mécaniques des sols, notamment sur le potentiel de contraction-gonflement (voir section 104). Quand les particules de sol sont très fines, comme dans le cas des particules d'argile, l'eau et les éléments chimiques peuvent être fortement adsorbés à leur surface. La teneur en eau des argiles peut donc varier considérablement. Les particules d'argile peuvent adsorber jusqu'à 600 pour cent de leur poids sec, soit un **gonflement*** correspondant à 10 fois leur volume initial à l'état sec (voir section 104).

L'air contenu dans le sol

Les sols contiennent aussi une certaine proportion d'air dans les pores libres qui séparent les particules de sol dans les grumeaux et les agrégats. L'action d'organismes vivants, tels que les vers, les termites, les fourmis, les rongeurs et les racines des végétaux, contribue également à introduire de l'air dans les fissures et les trous.

Le volume d'air contenu dans le sol dépend en grande partie de la nature physique du sol, de sa teneur en eau, de son degré relatif de **compactage***, et de l'importance et la nature des activités des organismes vivants.

Eau dans le sol



Porosité moyenne
en pourcentage du volume total

Sable	38
Limon sableux	43
Limon	47
Limon argileux	49
Argile siliceuse	51
Argile	53

Comparaison des systèmes de classification des particules minérales du sol

10	1	0,1	0,01	0,001	ISSS ¹
2	2	0,2	0,02	0,002	
		G		F	
	2	0,5	0,05	0,002	USDA ²
	T G	M F	MF		
	2	0,25	0,005		ASTM- USPRA ³
	2	G	F		
	2	0,5	0,005		USBS ⁴
	G	M F	MF		
	2	0,6	0,006	0,002	MIT- BSI ⁵
	G	M F	G M	F	
19	2	0,475	0,075		USC ⁶
G	G	F	M	argile + limon (silt) = fins*	
10	1	0,1	0,01	0,001	

NOTE. Symboles utilisés pour le limon (silt), le sable et le gravier

TF = très fin
F = fin
M = moyen
G = grossier
TG = très grossier

¹ Système international (classification d'Atterberg)
² Département de l'agriculture des États-Unis (USDA)
³ Société américaine pour les essais de matériaux (ASTM)
⁴ et administration des routes publiques des États-Unis (USPRA)
⁵ Bureau des sols des États-Unis (USBR)
⁶ Institut de technologie du Massachusetts (MIT)
⁷ et Institut britannique de normalisation (BSI)
⁸ Système unifié de classification des sols (USC)
⁹ Corps des Ingénieurs des États-Unis (USCE)
¹⁰ Bureau de mise en valeur des terres des États-Unis (USBR)
¹¹ et Institut indien de normalisation (ISI)

17 Principaux types de sols

Nous avons déjà vu dans la section 13 que les sols sont soit minéraux, soit organiques, selon leur origine. Les sols minéraux proviennent de la roche mère et évoluent soit sur place (sols résiduels), soit après transport (sols sédimentaires). Les sols organiques résultent généralement de l'accumulation de matériaux végétaux.

Nous avons appris aussi que les éléments constitutifs des sols sont de nature diverse. En particulier, le calibre des différents matériaux peut varier considérablement d'un sol à l'autre. À partir de l'élément constitutif principal d'un sol, il est possible de définir comme suit les principaux types de sols.

Gravier et sable

Le sable et le gravier sont généralement, parmi les particules qui composent le sol, celles que l'on reconnaît le plus facilement car ce sont des morceaux non cohérents de roche visible. Si vous prenez un peu de sable sec dans la main, il coule entre vos doigts comme de l'eau car le sable n'est pas un matériau stable. Les sols sableux sont aisés à travailler car ils ne collent pas aux outils. L'air et l'eau y circulent très facilement. La différence entre gravier et sable est une question de calibre, comme on le voit dans le tableau 2. Dans le présent manuel, nous utiliserons les dimensions suivantes:

- Les particules de **sable** ont un diamètre inférieur à 0,2 cm (ou 2 mm).
- Les particules de **gravier** ont un diamètre compris entre 0,2 et 7,5 cm.
- On donne généralement aux particules ayant un calibre supérieur au gravier le nom de **pierres** (de 7,5 à 25 cm) ou de **blocs** (de diamètre supérieur à 25 cm).

Limon inorganique

Les particules de limon (silt) sont beaucoup plus petites que les particules de sable; elles ne sont **pas visibles** à l'œil nu et sont bien plus rapprochées les unes des autres. Le limon ne laisse pas passer l'eau aussi facilement que le sable et il est moins perméable. Si vous écrasez du limon sec, il se transformera en poudre, plus grossière cependant que la poussière d'argile. Les sols limoneux ne se fissurent pas en séchant et ne collent pas aux outils quand ils sont mouillés. Ils sont plus difficiles à travailler que les sols sableux, mais moins que les sols argileux.

Note. Le limon inorganique a un aspect lisse, comme l'argile avec laquelle on le confond souvent. Mais sur le terrain, on peut facilement le distinguer de l'argile grâce au **test des secousses**, décrit à la page 73. Il est important de faire cette distinction car certains sols limoneux peuvent devenir très instables quand ils sont mouillés, quand on s'en sert par exemple pour la construction de digues et que l'eau les recouvre. L'argile, au contraire, est un matériau de construction stable.

Limon organique

Les particules de limon inorganique sont mêlées à des particules finement divisées de matière organique, dont certaines sont encore reconnaissables, comme des coquillages ou des substances végétales. La couleur du sol varie du gris clair au gris très sombre. Généralement, le limon organique a une odeur de matière organique en décomposition.

Argile inorganique

L'argile est l'**élément le plus fin** du sol; certaines de ses particules ne sont même pas visibles au microscope. C'est un **bon liant** pour l'eau et les substances chimiques. La plupart des argiles sont facilement reconnaissables car elles se fissurent en perdant de l'eau et forment des morceaux très durs. L'argile adsorbe l'eau très lentement, mais une fois qu'elle l'a adsorbée, elle peut en retenir une grande quantité. Elle peut gonfler et plus que doubler de volume. A l'état humide, l'argile devient très collante; si vous en prenez dans la main, elle adhèrera à

vos doigts. Les sols argileux mouillés sont souvent trop collants pour qu'on puisse les travailler; par contre, quand ils sont secs ils sont trop durs.

Note. Vous pouvez voir la différence entre une argile inorganique et un limon inorganique en faisant le test des secousses décrit à la page 73. Quand on frotte entre les doigts de l'argile sèche, aucune poudre n'en sort. L'argile inorganique diffère aussi par sa couleur d'ordinaire jaune, rouge ou blanche.

Argile organique

C'est une argile qui contient de la matière organique finement divisée. Elle est généralement de couleur gris foncé ou noire. L'argile organique a souvent une forte odeur de matière organique en décomposition.

Tourbe

La tourbe est un sol véritablement organique (voir page 8 et photographies en couleurs), constitué de fragments visibles de matériaux végétaux décomposés. Sa couleur va du brun clair au noir. Elle a une odeur de matière organique.

Note. La majeure partie des types de sols sont le plus souvent composés d'une combinaison de deux types de sols différents. On les appelle des **sols composites** et on les désigne en fonction de leurs constituants principaux et secondaires.

Sol composite

Sol composite	Matériau dominant	Matériau secondaire
Limon argileux	Limon	Argile
Sable silteux	Sable	Limon (silt)
Argile sableuse	Argile	Sable

18 Quelques exemples d'appellations particulières données aux sols

Harapan

C'est un sol qui oppose une résistance particulièrement forte aux outils de forage. C'est souvent un sol minéral très dense, constitué d'argile, de sable et de gravier, qui s'est cimenté jusqu'à former une couche dure comme du roc. L'eau ne l'ameublît pas et il faut user d'une pioche pour le creuser (voir photographies en couleurs).

Löss

C'est un sédiment d'origine éolienne, de couleur généralement brun clair. La plupart de ses particules sont de très petit calibre (0,01 - 0,05 mm). Ses particules s'agglomèrent fortement grâce à la présence d'un matériau liant calcaire ou argileux. Les racines y pénètrent et s'y étendent de façon importante.

Bentonite

C'est une argile à forte teneur en **montmorillonite**^{*}, qui est une argile très fine. La bentonite est généralement le résultat de modifications chimiques de cendres volcaniques. Quand on y ajoute de l'eau, la bentonite sèche gonfle davantage que d'autres argiles sèches. Mais, en séchant, elle se contracte aussi davantage. On peut utiliser la bentonite pour colmater le fond des étangs qui ne sont pas assez imperméables.

Terre noire à coton

C'est un sol argileux lourd contenant en général de 40 à 50 pour cent d'argile, surtout de la **montmorillonite**^{*}, peu de matières organiques et une forte proportion de carbonate de calcium. Sa couleur varie entre le gris clair et foncé, le noir ou le bleu-noir (voir photographies en couleurs). Quand le sol est mouillé, il devient très collant et très meuble; il augmente de volume, et sa stabilité est réduite. Lorsqu'il sèche, il se contracte énormément, de 20 à 30 pour cent. De larges fissures apparaissent à la surface et peuvent atteindre une profondeur de 3 m.

L'épaisseur de ce type de sol est généralement comprise entre 1 et 3 m, parfois davantage. On le trouve souvent dans les climats chauds et relativement secs. En Inde, ce sol est appelé «regur».

Sol latéritique

C'est l'ancien nom donné à un sol tropical très uniforme, typique des régions tropicales humides. Une altération intensive et prolongée entraîne le **lessivage**^{*} d'éléments chimiques (comme la silice), l'accumulation de sels de fer et d'aluminium, et la formation d'argiles. L'activité biologique y est intense, en particulier dans les forêts, et les systèmes racinaires y sont très étendus. La couleur de ce sol est habituellement rougeâtre ou jaunâtre. Quand une nappe souterraine agit dans la zone comprise entre 0 et 125 cm, il s'y forme en général un matériau argileux riche en fer et ferme (la **plinthite**^{*}), qui a l'apparence de **taches**^{*} rouges (voir photographies en couleurs). Exposé à l'air, ce matériau se dessèche et durcit irrémédiablement (latérite ou «curasse ferrugineuse»), formant un **harapan** (voir plus haut) ou des concrétions dures.

Sol à sulfates acide

Ce sol se caractérise par une forte **acidité** (pH inférieur à 4) (voir section 41) et par la présence de **taches** jaunes généralement abondantes (voir section 51 et photographies en couleurs). Ces taches indiquent la présence d'un composé de sulfate de fer (jarosite) qui s'est formé, sous l'action de l'air (**oxydation**^{*}), et de bactéries, à partir d'un minéral contenant du fer et de la pyrite sulfurée. Ce genre de sol se trouve souvent dans des zones salines telles que les mangroves côtières, soit dans des zones d'eau douce telles que les plaines de rivières. Les sols à sulfates acides d'eau douce sont très répandus en Asie du Sud-Est, par exemple dans la plaine des Juncos, le delta du Mékong et la plaine de Bangkok, en Thaïlande. L'utilisation de ces sols pour la pisciculture doit être étudiée avec soin (voir section 42).

2 PRÉPARATION ET EXÉCUTION D'UNE PROSPECTION PÉDOLOGIQUE

20 But de la prospection pédologique

Le but visé, quand on entreprend une prospection pédologique, est d'obtenir une image représentative des divers types de sols et des horizons qui se trouvent sur l'emplacement où vous voulez construire des étangs de pisciculture. Si vous voulez économiser du temps, des efforts et de l'argent, il faut vous y prendre le plus tôt possible. L'étude du sol devrait se faire avant l'achat du terrain, qui pourrait se révéler impropre à la construction d'étangs, et avant l'établissement des plans de la ferme piscicole.

21 Échantillons de sol

De quelle sorte d'échantillons de sol avez-vous besoin?

Il y a deux façons de prélever des échantillons de sol, selon le genre de tests qui doivent être faits. On distingue :

- **Les échantillons perturbés**, qui ne représentent pas tout à fait le sol dans l'état naturel qu'il avait avant l'échantillonnage.
- **Les échantillons Intacts**, qui représentent exactement le sol à l'état naturel, avant l'échantillonnage.

Les échantillons perturbés sont utilisés pour les essais simples, en particulier pour ceux que vous ferez vous-même *in situ*. Des échantillons intacts sont nécessaires pour les essais plus complexes qui seront faits en laboratoire et sont destinés à des analyses physiques et chimiques plus précises. Les échantillons intacts doivent être prélevés très soigneusement, car ils doivent être l'image exacte de la nature du sol. Pour une étude complète des sols de votre terrain, il vous faudra aussi bien des échantillons perturbés que des échantillons intacts.

A quelle profondeur devez-vous prélever des échantillons de sol?

Pour les besoins de l'aquaculture, on prélève généralement les échantillons de sol jusqu'à 2 m de profondeur. Cela permet d'examiner chacun des horizons présents sur cette épaisseur. Si la nappe phréatique se trouve à moins de 2 m, les échantillons doivent être pris jusqu'à la plus grande profondeur possible.

Quelles sont les précautions à prendre quand on prélève des échantillons de sol?

- **Échantillonnez tous les horizons** qui ont plus de 10 cm d'épaisseur. Tous les échantillons doivent correspondre à des horizons ou stratifications naturels du sol. Les prélèvements ne doivent pas être faits à des profondeurs arbitraires.
- **Si vous devez examiner et comparer** les échantillons du sol au moment du prélèvement, ayez soin de les ranger en tas séparés afin d'éviter de confondre les différents échantillons, et placez chaque tas sur une feuille de plastique ou un journal pour qu'il ne se mélange pas à d'autres matériaux, tels que feuilles, fumier ou gravier, qui pourraient se trouver sur le sol.
- **Si vous n'avez pas l'intention d'examiner et de comparer** les échantillons du sol au moment de leur prélèvement, placez-les immédiatement dans de solides sacs en plastique ou dans des sacs de toile doublés de plastique, terminez les sacs hermétiquement.
- **Étiquetez tous les sacs** contenant les échantillons soigneusement et de façon complète. Indiquez clairement sur l'étiquette le numéro d'identification du lieu d'échantillonnage, la profondeur supérieure et inférieure de l'horizon échantillonné et la date.

Échantillonnez tous les horizons de plus de 10 cm d'épaisseur



Gardez les échantillons de sol séparément



Mettez les échantillons de sol dans des sacs et étiquetez-les



Lieu _____
Profondeur supérieure _____
Profondeur inférieure _____
date _____

Une étiquette pour
un échantillon de sol

Echantillons de sol destinés aux analyses chimiques

- Chaque échantillon prélevé aux fins d'analyse chimique devrait peser environ 1 kg, sauf en ce qui concerne les sols à gravier pour lesquels l'échantillon doit être suffisamment volumineux pour contenir **au moins 100 g de terre fine** (particules de diamètre inférieur à 2 mm).
- Enlevez les pierres et les gros morceaux de matière organique, comme les feuilles et les racines, des échantillons de sol superficiel.
- Évitez de mélanger des échantillons provenant d'horizons différents.
- Pour prendre des échantillons d'un profil de sol dans une fosse à ciel ouvert, procédez de la façon décrite dans la section 22.

Que faire de vos échantillons de sol?

- Vous pouvez procéder vous-même, sur place, à des essais simples. On vous expliquera plus loin comment procéder sur le lieu d'échantillonnage.
- Vous pouvez prélever les échantillons puis les apporter à un laboratoire pédologique qui fera des analyses physiques et chimiques plus détaillées. Ces laboratoires existent auprès de certaines universités (écoles d'agronomie ou de génie civil, par exemple) et auprès des services de l'agriculture, des forêts ou des travaux publics.

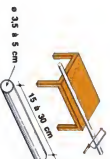
Rappelez-vous ceci:

- Pour les analyses chimiques, on peut utiliser un échantillon perturbé.
- Pour les analyses physiques, l'échantillon peut dans certains cas être perturbé, mais doit être intact dans d'autres cas, comme décrit dans la note à la fin de la section 31.

22 Méthodes d'échantillonnage des sols

Si vous avez décidé de prélever des échantillons à des profondeurs différentes, vous pouvez utiliser trois méthodes qui consistent soit à creuser, soit à forer, soit à extraire un échantillon aux endroits que vous avez choisis. Ce sont:

- La méthode de la fosse à ciel ouvert
- La méthode du forage à la tarière
- La méthode du tube à paroi mince

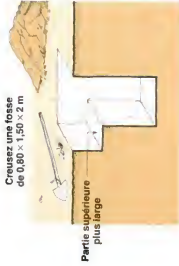


Méthode de la fosse à ciel ouvert

La méthode qui consiste à creuser une fosse à ciel ouvert est le seul moyen dont on dispose pour observer concrètement et étudier un profil pédologique **tel qu'il se présente naturellement**. La fosse peut être creusée à la main ou avec un outillage spécial, comme une pelle mécanique. Vous pouvez ainsi, en cas de nécessité, obtenir des échantillons intacts d'horizons choisis dans une fosse à ciel ouvert.

Pour creuser une fosse à ciel ouvert, la marche à suivre est la suivante :

- Creusez un trou, aux parois très droites de $0,80 \times 1,50$ m, et de 2 m de profondeur, ou moins si vous arrivez à la roche mère. La partie supérieure de la fosse doit être assez large pour que vous puissiez en voir facilement le fond. Le croquis vous montre comment procéder.
- Si vous avez choisi un emplacement caractérisé par un sol alluvial, vous rencontrerez peut-être la **nappe d'eau souterraine** avant d'atteindre 2 m. Si vous trouvez de l'eau, il est impossible de creuser plus profond, mais prenez les échantillons aussi profondément que possible.
- Quand vous avez fini de creuser, examinez attentivement l'une des parois les mieux exposées de la fosse pour identifier les différents horizons du sol; c'est ce qu'on appelle le **profil du sol**; il convient de l'examiner alors qu'il est fraîchement creusé. Faites un croquis de ce profil pour chacune des fosses que vous creusez, mesurez et inscrivez la profondeur du sommet et de la base de chaque horizon. N'oubliez pas d'indiquer sur le croquis l'endroit où l'échantillon a été pris.



Examinez le profil du sol

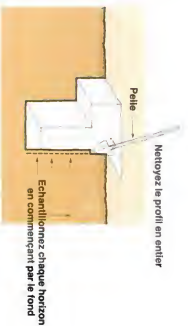


Dessinez chaque profil et annotez-le

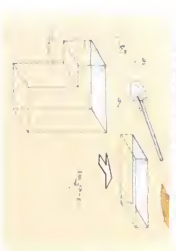


Vous êtes prêt maintenant à prélever les échantillons perturbés ou intacts dont vous avez besoin tant pour les essais en champ que pour les essais en laboratoire. Pour obtenir les échantillons destinés aux **analyses chimiques**, procédez comme suit:

- Nettoyez soigneusement le profil sur toute sa hauteur.
- Échantillonnez chaque horizon de bas en haut; commencez par l'**horizon le plus profond** et continuez en remontant. Il vous sera expliqué comment prélever des échantillons plus loin dans ce chapitre.
- Pour échantillonner les horizons les plus proches de la surface, qui peuvent avoir été perturbés par les travaux de creusement, étiquetez-les jusqu'à un **endroit qui n'a pas été remué**, le plus près possible de la fosse, creusez un trou peu profond et prélevez-y l'échantillon.



Echantillonnez les horizons supérieurs dans une zone intacte



Méthode du sondage à la tarière

La méthode du sondage à la tarière est un moyen d'obtenir des échantillons de sol à différentes profondeurs par forage, c'est-à-dire sans avoir à creuser une fosse. Elle permet d'obtenir une suite ininterrompue d'échantillons de sol avec lesquels on peut constituer une **carotte** montrant les divers horizons. Le sondage à la tarière est une méthode rapide et peu coûteuse. Elle permet d'explorer rapidement le sol en divers points du terrain, mais ne fournit que des **échantillons perturbés**. On peut utiliser la tarière dans la plupart des sols se trouvant au-dessus de la nappe phréatique. Si vous n'avez pas de tarière, vous pouvez en emprunter une à une station agronomique ou à une ferme expérimentale voisine.

Deux types courants de tarières

Il existe de nombreuses sortes de tarières, mais les plus courantes sont la **tarière à godet** et la **tarière à vis**.



La **tarière à godet** normale est un cylindre métallique d'environ 16 cm de longueur et de 8 à 10 cm de diamètre. À l'extrémité inférieure, elle a un bord tranchant, qui lui permet de traverser très facilement la plupart des sols. Les tarières à godet sont presque toujours munies d'une tige coulissante et d'un manche qui permettent de prélever des échantillons à de plus grandes profondeurs, généralement jusqu'à 1,1 m. Un échantillon prélevé à la tarière à godet est légèrement perturbé, mais il est acceptable pour la plupart des usages et il est d'un volume suffisant pour d'ultérieures analyses de laboratoire. Une tarière à godet d'un diamètre de 10 cm est particulièrement pratique pour faire des tests de perméabilité sur place (voir section 96).

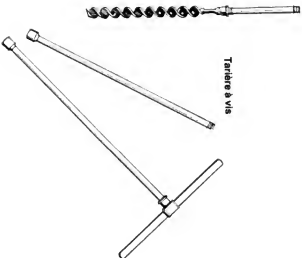
Inconvénients de la tarière à godet:

- Elle est moins efficace dans les sols qui contiennent beaucoup de sable et de gravier.
- Elle est difficile à utiliser dans les sols argileux.
- La profondeur d'échantillonnage ne dépasse guère 1 m.

La **tarière à vis** est une spirale métallique d'environ 30 cm de longueur et de 3,5 à 4 cm de diamètre. Les tarières à vis sont équipées de plusieurs rallonges, généralement de 30 cm de longueur, qui peuvent se fixer l'une après l'autre pour prendre des échantillons à de plus grandes profondeurs.

Inconvénients de la tarière à vis:

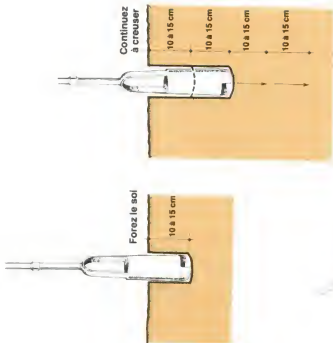
- Les échantillons sont très perturbés.
- Elle n'est pas efficace dans les sols contenant beaucoup de sable et de gravier.
- Elle est difficile à utiliser dans de l'argile dure.



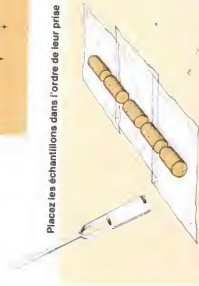
Tarière à vis

Pour échantillonner avec une tarière, vous devez procéder comme suit:

- Enfoncez la tarière dans le sol jusqu'à une profondeur de 10 à 15 cm.
- Retirez la tarière avec précaution pour laisser le sol à sa place, tel qu'il était dans le terrain, et placez l'échantillon sur une feuille de plastique ou sur des journaux.
- Continuez de percer sur 10 à 15 cm à chaque fois. Placez les tronçons obtenus successivement l'un après l'autre, afin d'obtenir une **carotte*** montrant les horizons du sol.



Placez les échantillons dans l'ordre de leur prise



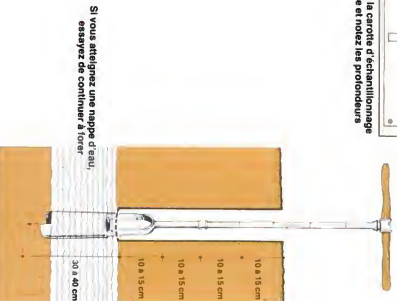
- Faites un croquis de la carotte. Mesurez et inscrivez la profondeur du sommet et de la base de chaque horizon.

- Si vous atteignez l'eau, percez, plus soigneusement, mais essayez de continuer encore sur 30 à 40 cm.

Note. Si le sol se trouvant au-dessous de l'eau contient beaucoup de sable, les bords du trou ne resteront pas en place et vous devrez arrêter de percer. Si le sol se trouvant au-dessous de l'eau contient assez d'argile, les bords du trou resteront en place et vous pourrez continuer à percer au-delà du plan phréatique (voir schéma ci-dessous).



Dessinez la carotte d'échantillonnage obtenue et notez les profondeurs.



Méthode du tube à paroi mince

Cette méthode consiste à utiliser un tube léger, ouvert aux deux extrémités. On l'enfonce dans le sol pour en obtenir un échantillon et on l'extrait du trou. Bien exécutée, cette méthode permet d'obtenir des échantillons non perturbés.

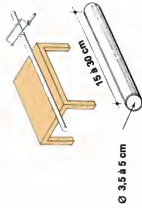
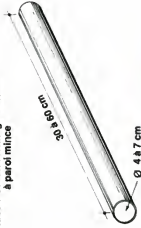
On peut trouver dans le commerce des tubes à paroi mince de 30 à 60 cm de longueur et de 4 à 7 cm de diamètre. Mais vous pouvez fabriquer vos propres tubes de prélèvement en prenant des tronçons de tuyaux d'acier de qualité N° 16 (1,6 mm d'épaisseur) ou N° 18 (1,25 mm d'épaisseur), de 15 à 30 cm de longueur et de 3,5 à 5 cm de diamètre.

Cette méthode comporte quelques inconvénients :

- Elle n'est pas efficace dans les sols meubles.
- Elle n'est pas efficace dans les sols durs ou graveleux.

Il importe de se souvenir que cette méthode, utilisée convenablement, permet d'obtenir des échantillons de sol pratiquement intacts. Le degré de perturbation de l'échantillon dépendra de la manière dont le tube aura été enfoncé dans le sol et des caractéristiques du tube. C'est au moment de pousser et de faire pénétrer le tube dans le sol que l'on risque le plus de déranger l'échantillon; aussi faut-il faire très soigneusement cette opération. De même, on risque moins de perturber l'échantillon si le tube a une paroi mince et un bord tranchant bien aiguisé à une extrémité.

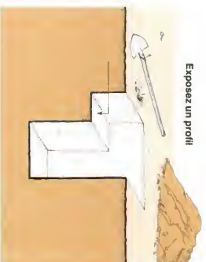
Un tube d'échantillonnage standard à paroi mince



Faites votre propre tube d'échantillonnage

Marche à suivre pour prélever un échantillon au moyen d'un tube à paroi mince:

- Creusez une fosse.
- Déterminez les différents horizons du profil du sol. Faites un croquis et inscrivez l'épaisseur des couches.
- Huilez soigneusement la paroi interne de chaque tube de prélèvement (vous pouvez utiliser de l'huile de moteur).



Exposez un profil



Notez les profondeurs



Huilez l'intérieur
du tube

- A l'endroit où vous voulez prélever un échantillon, introduisez un tube horizontalement dans le sol. Essayez d'**enfoncer le tube aussi vite et régulièrement que possible**; vous n'utiliserez un marteau et une pièce de bois qu'en cas de nécessité.



- Retirez le tube du sol avec un couteau. Faites bien attention de le maintenir horizontal pour ne pas déplacer l'échantillon qu'il contient.



Bouchez les deux extrémités du tube



- Fermez hermétiquement le tube aux deux extrémités pour y enfermer l'échantillon de sol. Vous pouvez pour cela prendre des morceaux de tissu, de pellicule de plastique ou de chambre à air et de la ficelle.



- Placez le tube dans un sac en plastique que vous étiquetez.
- Répétez cette opération le long du profil, autant de fois qu'il est nécessaire.

23 Comment faire une prospection pédologique destinée à une ferme piscicole¹

Une prospection pédologique se fait en deux temps

La première étape consiste à effectuer un relevé bref et rapide pour avoir une idée générale des variétés de sols en présence et de leur localisation. Il s'agit là de la **prospection de reconnaissance**. On la conduit généralement en creusant un certain nombre de fosses à ciel ouvert et en examinant les **profils de sol** exposés. On prélève quelques échantillons pour faire des tests, en champ et en laboratoire. Sur la base de cette rapide prospection, vous devez déjà pouvoir déterminer les emplacements qui conviennent à la construction d'étangs, c'est-à-dire ceux qui ont un bon sol imperméable, et les endroits à écarter, par exemple parce qu'ils comportent des couches de gravier ou d'épaissees couches de sol organique. Dans la section 24, vous apprendrez comment faire une prospection de reconnaissance.

La seconde étape consiste à étudier de façon plus complète les emplacements que vous avez jugé intéressants au cours de l'étude de reconnaissance. C'est ce qu'on appelle une **prospection détaillée**. Pour cela, on perce généralement un certain nombre de trous au moyen d'une tarière. Les échantillons obtenus avec la tarière vous permettront de définir l'état actuel du sol et ses aptitudes. Si cela est nécessaire, vous pouvez porter au laboratoire des échantillons non perturbés pour des analyses complémentaires. Dans la section 25, vous apprendrez comment conduire une prospection détaillée.

Note. Le nombre d'échantillons que vous devrez prélever sur un site déterminé dépendra de la diversité des sols. Plus les sols seront variés, plus grand sera le nombre des échantillons à prélever et à examiner pour avoir une représentation claire de l'aptitude de ce site.

¹ Les techniques de prospection décrites ici sont simples et conviennent à l'étude des emplacements se prêtant à la construction d'étangs piscicoles. Pour d'autres aspects de l'agriculture, il existe des méthodes plus élaborées, qui sont décrites dans le *Guide de la FAO* N° 42: « Etudes et perspectives pédologiques en vue de l'irrigation » (1986).

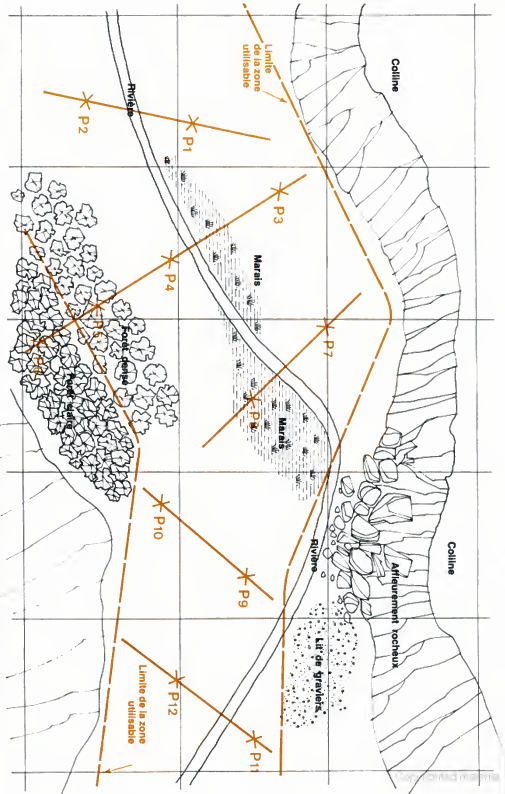
24 Comment conduire une prospection pédologique de reconnaissance

Voici les principales opérations que vous devrez accomplir pour faire une prospection pédologique de reconnaissance :

- **Choisir le site** de votre future ferme piscicole.
- Préparer la prospection*
- Tracer une petite **carte schématique** du site choisi, en y indiquant les principaux éléments topographiques : ruisseaux, rivières, marécages, couches de gravier, affleurements rocheux, collines et termitières, forêts ou savanes (voyez l'exemple sur la page ci-contre).
- Reprenez cette carte schématique et **étudiez** tous les éléments topographiques et autres facteurs qui pourraient avoir un effet sur la qualité du sol : types de végétation, activités humaines et relief général.
- A partir de cette étude, **planifiez** votre prospection de reconnaissance, en ayant toujours présent à l'esprit qu'il vous faudra prendre au moins un échantillon de chaque type de sol sur les différents points du site convenant à la construction d'étangs. En règle générale, vous devriez prélever des échantillons de sol d'un point du site **pour chaque hectare de terrain**.
- **Numérotez** sur votre carte les points du site choisis pour les échantillonnages. Vous avez déjà appris que pour faire une prospection de reconnaissance vous devez creuser des fosses à ciel ouvert. Chacun des endroits correspondant à une fosse d'échantillonnage et un profil pédologique peut donc être désigné par la lettre **P**. Numérotez-les consécutivement P1, P2, P3, P4, ..., P12, s'il y a par exemple 12 emplacements (voir page ci-contre).

Note. Si vous devez faire une prospection pédologique dans une vallée, organisez-la de façon à obtenir des échantillons en travers de la vallée et le long des pentes, là où les variations de sol sont le plus fréquentes.





Note. Chaque carré est de 100 m x 100 m ou 1 ha, et la zone utilisable totale est d'environ 7,5 ha.

Note. S'il existe plusieurs types de végétation: terres cultivées, prés, savane claire, savane arborée, zones de forêt claire et dense,

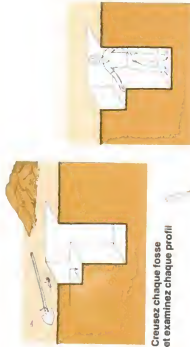
organisez votre prospection de reconnaissance de façon à obtenir des échantillons de sol correspondant à tous les types de végétation présents. Vous pouvez éliminer les zones qui sont impropres à la construction d'étangs de terre en raison de la présence de grosses pierres en surface, de couches de gravier ou d'affleurements rocheux. On peut aussi considérer comme inaptes la plupart des zones de forêt dense.

Comment creuser les fosses à ciel ouvert et examiner les profils pédologiques

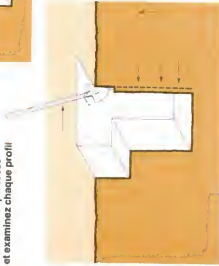
- Sur chacun des emplacements que vous avez numérotés sur votre carte, creusez une **fosse à ciel ouvert** de $0,80 \times 1,50$ m et de 2 m de profondeur.

- Examinez le **profil pédologique** dès qu'il apparaît et quand il est encore frais, pour que vous puissiez distinguer les horizons plus facilement. S'il sèche avant que vous n'ayez pu l'examiner, enlevez une tranche verticale sur un des côtés de la fosse et examinez le **profil frais** (voir page 32).

- Faites un **croquis** du profil aussitôt après l'examen. Notez vos remarques et toutes autres **observations** que vous avez pu faire sur le terrain et qui pourraient être utiles par la suite. Numérotez le croquis d'après les numéros notés sur votre carte schématique.



Creusez chaque fosse et examinez chaque profil



Dessinez et annotez chaque profil

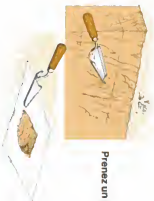
Comment prélever les échantillons

- Vous voilà prêt à prélever dans le profil les échantillons de sol dont vous aurez besoin. S'il vous faut des **échantillons perturbés**, vous pourrez vous servir d'une petite pelle ou d'une truelle de jardinage. S'il vous faut des **échantillons intacts**, vous les prélèverez dans les différents horizons en utilisant la méthode du tube à paroi mince.

- **Étiquetez et ensachez** tous les échantillons que vous prélevez et rangez-les dans un lieu sec jusqu'à ce que vous soyez prêt à les utiliser. N'oubliez pas de noter sur l'étiquette le numéro du lieu d'échantillonnage, la profondeur du sommet et de la base de l'horizon échantillonné et la date.

Note. Une fois que vous avez terminé la prospection de reconnaissance et identifié approximativement les types de sols en présence et leur localisation sur le terrain, inscrivez ces informations sur votre carte du site. Si les résultats de la prospection de reconnaissance sont satisfaisants, vous pouvez passer à une étude plus détaillée.

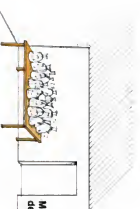
Prenez un échantillon perturbé



Prenez un échantillon non perturbé



Mettez vos échantillons dans des sacs et étiquetez-les

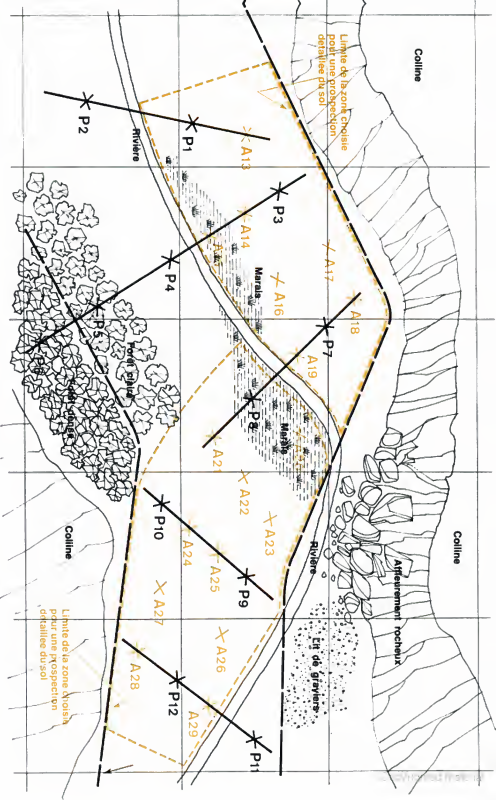


25 Comment faire une prospection pédologique détaillée

Les principales étapes d'une prospection pédologique détaillée sont les suivantes:

Préparer la prospection

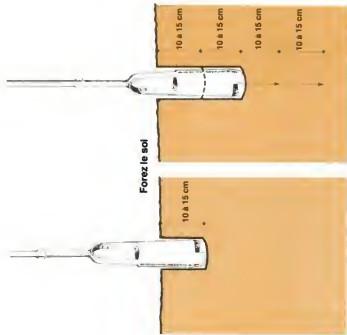
- Etudiez avec soin la carte du site: reprenez vos notes et autres observations concrètes qu'aura livrées votre prospection de reconnaissance. **Organisez** votre prospection détaillée de façon à compléter ces informations. Il vous faudra, en particulier, localiser de façon plus précise les différents types de sols qui se trouvent dans les zones convenant à la construction d'étangs.
- Choisissez les endroits où vous prélèverez de **nouveaux échantillons de sol**. En règle générale, cela signifie qu'il vous faut choisir au moins deux nouveaux points d'échantillonnage par hectare de terrain.
- **Numérotez** sur votre carte tout nouvel emplacement choisi pour prendre des échantillons supplémentaires. On vous a déjà dit que, pour faire une prospection détaillée, il faut forer à la tarière un certain nombre de trous. Chaque endroit foré à la tarière peut par exemple être désigné par la lettre **A** suivie d'un numéro, en prenant bien garde de ne pas utiliser des numéros ayant déjà servi précédemment, par exemple: A13, A14, A15, A16...A29, jusqu'à ce que tous les emplacements aient leur numéro (voir exemple sur la page ci-contre, avec 17 nouveaux emplacements).



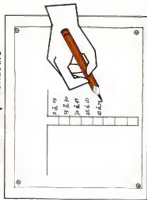
Note. Chaque carré est de 100 m × 100 m ou 1 ha.

Prélever des échantillons à la tarière et examiner les profils de sol

- Sur chacun des nouveaux emplacements, prélevez une série d'échantillons par la méthode du **forage à la tarière**.



Dessinez la carotte d'échantillonnage et notez les profondeurs



- Examinez ces échantillons dès que possible, tant qu'ils sont encore frais. Faites un **croquis de chaque carotte**. Notez vos remarques et toutes autres observations de terrain qui pourraient vous être utiles par la suite. Numérotez chaque croquis en fonction de votre carte du site.

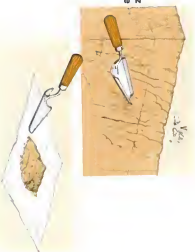
Prélever des sous-échantillons

- Si nécessaire, prélevez des sous-échantillons de la carotte* pour compléter d'analyse en laboratoire. Pour cela, commencez par identifier les horizons présents puis, à la main ou avec une petite truelle, prélevez un échantillon de sol des horizons choisis, afin de compléter les renseignements fournis pour la prospection de reconnaissance des fosses à ciel ouvert.

- **Étiquetez et ensachez** tous les échantillons de sol : rangez-les en lieu sec jusqu'à ce que vous soyez prêt à vous en servir. N'oubliez pas de noter sur l'étiquette le numéro du lieu d'échantillonnage, la profondeur du sommet et de la base de l'horizon échantillonné et la date.

Note. Une fois terminée la reconnaissance détaillée, comparez les conclusions avec celles de votre prospection de reconnaissance. Tracez une carte finale montrant la distribution des différents types de sols. En cas de doute, prélevez à la tarière de nouveaux échantillons en des points précis, afin de compléter les éléments en votre possession. Vous pouvez aussi examiner de nouveau les échantillons de sol que vous avez déjà pris, ou en prendre d'autres (par exemple, des échantillons intacts provenant de fosses à ciel ouvert) pour vérifier des propriétés particulières du sol.

Complétez l'échantillonnage



Mettez les échantillons dans des sacs, étiquetez-les et conservez-les

3 PROPRIÉTÉS DU SOL IMPORTANTES POUR LA PISCICULTURE EN EAU DOUCE

30 Tests de classification

Pour identifier les différents types de sols, il vous faudra effectuer divers tests de classification.

Si vous envisagez de construire une petite station piscicole, vous pouvez procéder vous-même, sur le terrain, à la plupart de ces tests.

Si vous envisagez de construire une grosse station piscicole, vous devrez peut-être avoir recours à des tests de classification plus complexes, et vous devrez vous adresser à un laboratoire spécialisé. Il vous faudra savoir quels sont les tests à demander et être à même d'en comprendre les résultats. Si vous souhaitez une interprétation plus précise, vous aurez peut-être besoin de consulter un ingénieur et devrez être capable de comprendre ses explications techniques. Le présent manuel vous y aidera dans les chapitres qui suivent.

Les tests de classification servent à choisir les propriétés particulières d'un sol (ou **propriétés de base**), qui serviront à définir les types de sols rencontrés sur l'emplacement choisi pour la construction. Une fois définis les types de sols, il sera possible d'évaluer leur intérêt en tant que matériaux destinés au fond de l'étang ou à la construction des barrages et des digues. Les indications fournies au chapitre 12 vous y aideront.

voire ferme. Si vous projetez de construire une assez grande ferme piscicole, commencez par les opérations suivantes:

- Identifiez vos **types principaux** de sols (voir section 17).
- En vous servant du **tableau 3**, faites une liste des tests de classification à faire pour trouver les propriétés de base correspondant à ces types de sols.
- Faites les tests que vous pouvez effectuer vous-même, de préférence sur le terrain.
- Portez vos échantillons de sol à un **laboratoire d'analyses pédologiques**, qui effectuera les autres essais nécessaires.
- A la réception des résultats, confrontez-les avec les indications fournies au **chapitre 11** et classifiez vos sols.
- En vous reportant au **chapitre 12**, définissez les principales caractéristiques physiques de vos sols et voyez si ces derniers conviennent comme fonds d'étangs et comme matériaux de construction pour les barrages et les digues.

Projet de petite ferme piscicole

Si votre projet est de petite dimension, des tests sur le terrain peuvent suffire à définir les propriétés suivantes:

- **Couleur**: bon indice des conditions de drainage
- **Texture**: proportions relatives des particules de différents calibres
- **Structure**: façon dont les particules du sol sont assemblées
- **Consistance et plasticité**: force avec laquelle les particules du sol sont unies entre elles, à l'état sec, humide ou mouillé
- **Perméabilité**: vitesse à laquelle l'eau s'infilte verticalement.

31 Propriétés de base des sols pour la pisciculture en eau douce

Projet de grande ferme piscicole

Si votre projet est de grande dimension, vous aurez besoin d'études pédologiques plus détaillées. Le **tableau 3** donne une liste des propriétés de base requises pour faire une description appropriée des différents types de sols, en vue de la construction d'une ferme piscicole. Ces propriétés vous donneront une assez bonne idée des propriétés physiques de votre sol en fonction desquelles vous pourrez concevoir

TABLEAU 3

Propriétés de base des sols du point de vue de la pisciculture continentale

TYPE DE SOL	TESTS QUE VOUS POUVEZ FAIRE VOUS-MÊME												
	Odeur ²	Couleur/taches	Texture générale	Analyse granulométrique (L)	Test des secousses ³	Consistance à l'état sec	Consistance à l'état humide	Limite de liquidité-plasticité (L)	Limite de plasticité-plasticité (L)	Structure	Perméabilité sur le terrain	Coefficient de perméabilité (L)	pH (L)
Sable, gravier	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Limon (silt) inorganique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Argile inorganique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Löss	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Limon (silt) organique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Argile organique	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tourbe	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sol composite ¹	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

¹ (L) = Test de laboratoire² Analyse granulométrique portant sur un échantillon complet. Les particules sont ensuite divisées en deux groupes: les lièss concernant le « sable » se font sur le groupe qui comprend les particules de dimension supérieure à 0,075 mm, et les lièss concernant les « limons » (silt) sur le groupe dont les particules sont plus fines.³ Une odeur fade peut être intensifiée en chauffant légèrement l'échantillon.⁴ Voir section 60.

Sauf pour certaines mesures de la perméabilité verticale, il convient de faire ce travail pour chaque horizon séparément. Les sections ci-après vous donneront des indications quant à la façon d'effectuer vous-même ces tests de terrain très simples. On y décrira aussi d'autres techniques à l'intention de ceux qui ont la formation nécessaire pour les comprendre et les mettre en pratique.

Note. Vous avez vu à la section 21 qu'il y a deux sortes d'échantillons: les échantillons perturbés et les échantillons intacts; vous avez vu aussi, dans la section 22, comment prélever ces échantillons sur le terrain. Quand vous avez décidé quelles sont les propriétés de base qui vous intéressent, vous devez faire en sorte d'obtenir le genre d'échantillons de sol qu'il vous faut, à savoir:

- **Des échantillons intacts** pour établir la structure et la perméabilité.
- **Des échantillons perturbés** pour toutes les autres propriétés de base.

4 PROPERTIES OF SOL

40 Les qualités chimiques des sols évoluent dans le temps

La dégradation de la roche mère par l'eau conditionne, dans une large mesure, la composition chimique du sol qui en est le résultat final. Certaines substances chimiques sont **lessivées*** et s'enfoncent dans les profondeurs du sol, où elles s'accumulent. D'autres substances, moins solubles, demeurent dans les couches supérieures du sol. Les éléments chimiques qui sont enlevés le plus rapidement sont les chlorures et les sulfates, suivis du calcium, du sodium, du magnésium et du potassium.

Les silicates et les oxydes de fer et d'aluminium se décomposent très lentement et sont rarement **lessivés***. Quand certains de ces éléments entrent en contact avec l'air du sol, il se produit des réactions chimiques, d'**oxydation** en particulier, qui ont pour effet de transformer les substances chimiques originales en substances plus solubles ou plus fragiles. Il s'ensuit une accélération des processus d'altération, un **lessivage*** plus intense des éléments chimiques et de nouvelles modifications de la composition chimique du sol.

Quand un sol engorgé contenant des sulfures de fer (pyrites) est exposé à l'air, lors de la construction d'étiangs par exemple, il peut devenir un **sol à sulfates acide d'eau douce** (voir section 18). Les pyrites s'oxydent et le sol devient acide. Il est probable dans ce cas que l'eau de l'étiang sera trop acide pour un élevage de poissons (voir section 42).

L'air qui se trouve dans le sol contient aussi du **dioxyde de carbone**. Ce gaz, combiné à l'eau, peut se transformer en un acide faible (acide carbonique) qui réagira avec certains éléments chimiques pour en former de nouveaux.

41 Réaction chimique du sol (le pH)

Qu'est-ce que le pH ?

Les sols peuvent avoir une **réaction acide** ou **alcaline**; d'autres peuvent être **neutres**. On mesure la réaction chimique du sol d'après la **valeur de son pH**. La valeur du pH varie de 0 à 14, le pH = 7 correspondant à une réaction neutre. Des valeurs inférieures à 7 indiquent que le sol est acide; des valeurs supérieures à 7 indiquent que le sol est alcalin. Plus le pH s'éloigne de la neutralité, plus fortes sont l'acidité ou l'alcalinité.

Comment mesure-t-on le pH ?

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH du sol consiste à utiliser un **pH mètre** électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon de sol avec deux parts d'eau distillée. Les laboratoires d'analyse des sols possèdent cet appareil.

Pour obtenir une idée générale du pH du sol, on peut utiliser sur le terrain du papier de tournesol et des révélateurs de couleur. Le **papier de tournesol**, qui vire au rouge dans une solution acide et au bleu dans une solution alcaline, est relativement bon marché et se trouve en général dans les drogueries et les pharmacies. On en trempe une partie dans une suspension de sol composée d'une part de sol et de deux parts d'**eau distillée**, ou, au besoin, d'eau de pluie recueillie dans un récipient propre. On trouve aussi des trousses complètes pour analyse de sol sur le terrain, comprenant plusieurs **indicateurs**. Suivant le mode d'emploi, on mélange normalement un petit échantillon de sol avec un peu d'eau distillée et un produit chimique. On y ajoute quelques gouttes d'un indicateur. La couleur de la solution change, et on se reporte au tableau coloré fourni avec la trousse d'analyse pour voir à quelle valeur de pH correspond la couleur obtenue.

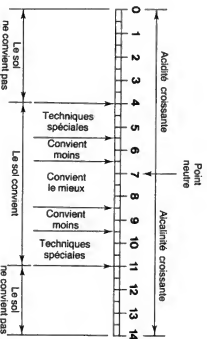
Quel pH votre sol devrait-il avoir ?

Le pH des couches de sol qui formeront plus tard les digues et le fond de vos étiangs aura une grande influence sur leur **productivité**. Ainsi,

une eau acide tendra à réduire considérablement la croissance des organismes microscopiques dont les poissons se nourrissent. Des taux extrêmes d'acidité ou d'alcalinité peuvent même mettre en péril la santé de vos poissons, et nuire à leur croissance et à leur reproduction.

Pour avoir de bonnes conditions de production, le pH du sol d'un étang ne doit être ni trop acide ni trop alcalin. Il devrait se situer de préférence entre pH 6,5 et pH 8,5. Les sols ayant un pH inférieur à 5,5 sont trop acides et les sols ayant un pH supérieur à 9,5 sont trop alcalins. Ces conditions extrêmes obligent à employer des **techniques spéciales d'aménagement** qui pèseront sensiblement sur le prix de revient de la production de poissons. Cette question sera traitée dans un autre manuel de la Collection FAO: *Formation*. Si le sol a un pH inférieur à 4 ou supérieur à 11, il devrait être considéré comme impropre à la construction de digues d'étangs ou à son utilisation comme fond d'étang.

Valeurs de pH



42 Un cas particulier : les sols à sulfates acides d'eau douce

Sols à sulfates acides et sols à sulfates acides en puissance

Les sols appartenant effectivement à la catégorie des sols à sulfates acides ne sont pas courants. Dans un profil pédologique, on peut les reconnaître facilement à deux traits importants :

- Leur pH est égal ou inférieur à 4.
- On y observe généralement de nombreuses taches jaunes (voir photographies en couleurs).

Les sols à sulfates acides en puissance sont bien plus fréquents (voir page 25). Ce sont des matériaux engorgés et meubles qui deviendront du sol à sulfates acide à la suite d'un drainage ou d'une exposition à l'air. Leur pH varie entre 5 et 6. Mais l'oxydation provoquée par des processus chimiques et biologiques en fera un sol très acide, dont le pH descendra à 4 ou même moins en quelques mois.

Note. S'il reste submergé, le sol à sulfates acide en puissance ne deviendra jamais effectivement acide. Il ne peut le devenir que s'il est exposé à l'air.

Comment identifier un sol à sulfates acide en puissance?

Il importe d'identifier un sol à sulfates acide en puissance lors de l'étude pédologique du site des étangs. On peut alors concevoir la construction de l'étang de telle sorte que ce type de sol ne soit pas exposé à l'air, et éviter ainsi la forte acidification des digues et de l'eau de l'étang. Cette question sera traitée dans un autre manuel de la Collection FAO: *Formation*.

Pour identifier un sol à sulfates acide en puissance, procédez comme suit:

- Prenez une poignée du sol à analyser.
- Si l'échantillon est sec, mouillez-le.
- Modelez l'échantillon humide pour obtenir une galette de 1 cm d'épaisseur.
- Placez la galette humide dans un sac en plastique que vous fermez hermétiquement.
- Au bout d'un mois, mesurez le pH du sol de la galette.
- Si le pH est descendu au-dessous de 4, le sol est un sol à sulfates acide en puissance.

Note. Il importe que l'échantillon de sol reste humide, l'humidité devant favoriser une forte activité bactérienne et une acidification plus rapide. Dans des échantillons secs, le pH n'atteindra sa valeur minimale qu'au bout de quelques mois.

5 COULEUR ET TACHES DE COULEUR

50 Couleur des horizons pédologiques

Comment définit-on la couleur des horizons pédologiques ?

Il faut définir la couleur de chaque horizon **quand le sol est humide**, dès que les pellicules visibles d'humidité disparaissent de l'échantillon humidifié. Pour définir la couleur des horizons, les spécialistes se réfèrent en général au Code des couleurs des sols de Munsell. Pour notre propos, nous utiliserons un système plus simple comprenant les teintes suivantes :

Nuances des couleurs

NOIR	
GRIS	— foncé — clair
BRUN	— foncé — rougeâtre — clair
JAUNE	— rougeâtre — jaune
ROUGE	— jaunâtre — rouge — foncé

Que peut indiquer la couleur ?

Dans le **sol superficiel** (horizon A, par exemple), des teintes foncées sont généralement l'indice d'une forte teneur en matière organique (voir photographies en couleurs). Mais ce n'est pas toujours le cas : dans les zones à forte pluviométrie, la couleur foncée du sol peut être due à un mauvais drainage.

Description typique de la couleur d'un profil pédologique

Horizon	Couleur
A ₁ 0-10 cm	Brun foncé
A ₂ 10-25 cm	Brun rougeâtre foncé
B ₁ 25-70 cm	Brun rougeâtre foncé
B ₂ 70-100 cm	Rouge foncé
C 100-200 cm	Rouge jaunâtre

Dans des **horizons plus profonds**, comme l'horizon B, une couleur brune signifie généralement que le sol a un bon drainage naturel. Une couleur noire ou gris foncé est généralement due à une accumulation de matière organique (voir photographies en couleurs). Dans les régions de forte pluviométrie, cela peut encore être le signe d'un mauvais drainage.

51 Taches de couleur dans les horizons pédologiques

Qu'est-ce qu'une tache de couleur et comment la décrire ?

On désigne par **taches de couleur** les points ou bandes d'une couleur particulière, généralement rougeâtre, jaunâtre ou blanche, qui peuvent apparaître dans certains horizons pédologiques (voir photographies en couleurs).

- S'il y a une couleur dominante, on décrit les taches de couleur d'après la **proportion** et la **couleur des taches*** ; par exemple : horizon jaune rougeâtre avec de nombreuses taches rouge jaunâtre et blanches.
- Si le nombre des taches est tel qu'il devient impossible de distinguer une couleur dominante, déterminez et notez les **diverses couleurs que vous voyez**, et ajoutez l'adjectif **tacheté**; par exemple : rouge, brun, tacheté.

Qu'indiquent les taches de couleur ?

Un sol présente de nombreuses taches de couleur quand il est sujet à **l'engorgement**, même s'il est très perméable. Mais les taches peuvent aussi apparaître pour d'autres raisons.

Si elles apparaissent dans un **horizon B aux couleurs vives**, elles ne sont pas liées à un problème de drainage.

Si elles apparaissent dans un horizon de couleur **terre, grise** le plus souvent, c'est signe qu'il existe un problème de drainage pendant une grande partie de l'année, qu'il y ait ou non de l'eau au moment de l'examen.

De nombreuses taches jaune pâle, associées à un pH faible, caractérisent des sols véritablement à sulfates acides.

Le tableau ci-dessous énumère les diverses couleurs et taches du sol qui sont liées aux **conditions de drainage**.

Conditions de drainage	
Couleur/taches du sol	Conditions de drainage
Couleurs chaudes, bruns, rouges et oranges	Bon drainage
Gris jaunâtres pâles, gris pâles et sombres avec des taches de couleur rouille/orangé et/ou grise dans l'horizon engorgé; les couleurs grises y sont fréquentes aussi	Drainage médiocre à certaines saisons; nappe phréatique à 25-120 cm de profondeur
Gris pâles, sombres et bleuâtres ou jaunes pâles et brunâtres avec des taches rouille/orangé, brunes ou grises dans le sol superficiel	Sol marécageux à certaines saisons; nappe phréatique à moins de 25 cm de profondeur

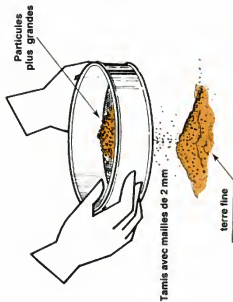
La combinaison couleurs et taches peut aussi servir d'indicateur visuel de la **perméabilité du sol** (voir tableau 17B, page 117).

6 TEXTURE DU SOL

60 Définition de la texture du sol

La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées: sable, limon ou argile. De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient, et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol.

Pour établir la texture d'un échantillon de sol, commencez par séparer la **terre fine*** (toutes les particules inférieures à 2 mm) des particules plus grosses telles que graviers et pierres. La terre fine est un mélange de sable, de limon et d'argile. **Assurez-vous que vous n'employez que de la terre fine pour les essais en champ décrits ci-après.**

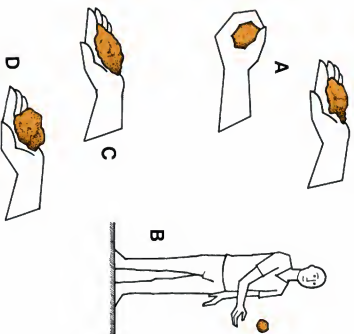


61 Essais rapides à effectuer sur le terrain pour déterminer la texture du sol

Pour la construction d'étangs de pisciculture, il vaut mieux avoir un sol comprenant une forte proportion de limon et/ou d'argile, qui ont la propriété de mieux retenir l'eau. Pour vérifier rapidement la texture du sol à différentes profondeurs, nous vous proposons deux tests très simples.

Test du lancer de la boule

- Prenez une poignée de sol humide et pressez-la pour en faire une boule (A).
- Lancez la boule en l'air (B) à 50 cm environ et rattrapez-la...

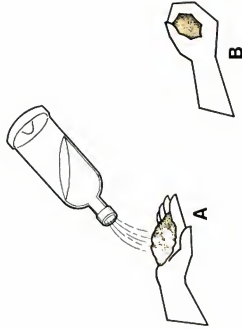


— Si la boule se désagrége (C), le sol est pauvre et contient trop de sable.

— Si la boule reste formée (D), le sol est probablement bon et contient suffisamment d'argile.

Test de la pression

- Prenez une poignée de sol et humectez-la un peu (A) de façon à lier le sol sans qu'il colle à votre main.
- Pressez-la fortement (B), puis ouvrez la main...



— Si le sol garde l'empreinte de votre main (C), c'est qu'il contient probablement assez d'argile pour la construction d'un étang.



— Si le sol ne garde pas l'empreinte de votre main (D), c'est qu'il contient trop de sable.

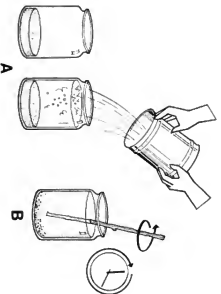


62 Comment trouver les proportions approximatives de sable, de limon et d'argile

Voici un test simple qui vous donnera une idée générale des proportions de sable, de limon et d'argile contenues dans le sol.

Test de la bouteille

- Mettez 5 cm de sol dans une bouteille que vous remplissez d'eau (A).
- Remuez bien le mélange d'eau et de sol, puis laissez reposer pendant une heure. Au bout d'une heure, l'eau se sera clarifiée et vous verrez que les particules les plus grosses se seront déposées (B).



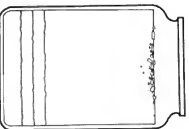
- Au fond de la bouteille, se trouve une couche de sable et de gravier.

- Au milieu, une couche de limon.

- Au sommet, une couche d'argile. Si l'eau n'est pas encore claire, c'est qu'elle contient encore de très fines particules d'argile.

- A la surface de l'eau, on peut voir flotter des fragments de matière organique.

- Mesurez la hauteur des différentes couches de sable, de limon et d'argile et évaluez la proportion approximative de chacune, d'elles (C).

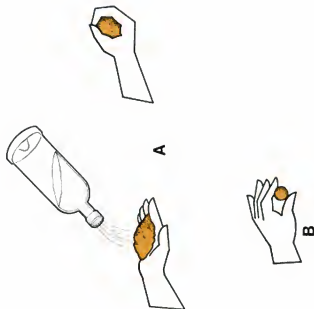


C

29 % d'argile
28 % de limon
43 % de sable et gravier

63 Comment classer la texture de fine à grossière

Les différentes textures du sol peuvent être classées de fines à grossières. Une **texture fine** indique une forte proportion de particules fines, caractéristiques du limon et de l'argile. Une **texture grossière** indique une forte proportion de sable. Le **tableau 4** donne des définitions plus précises. Vous pourrez classer la texture de votre sol à l'aide du test simple décrit ci-dessous.

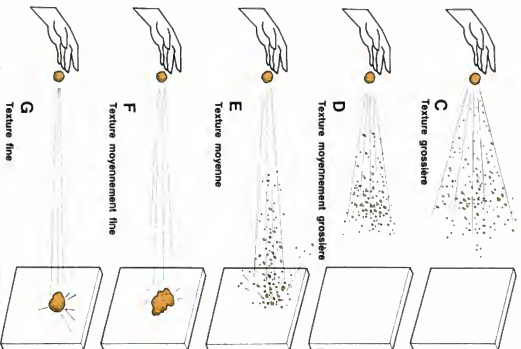


Test du jet horizontal de la balle

- Prenez une poignée de sol; mouillez-la un peu (A) et malaxez-la jusqu'à ce qu'elle prenne une consistance pâteuse.
- Continuez à la travailler entre le pouce et l'index et formez une balle humide d'environ 3 cm de diamètre (B).

- On peut déterminer la texture du sol d'après la façon dont la balle réagit quand on la projette sur une surface dure, telle qu'un mur ou un arbre...

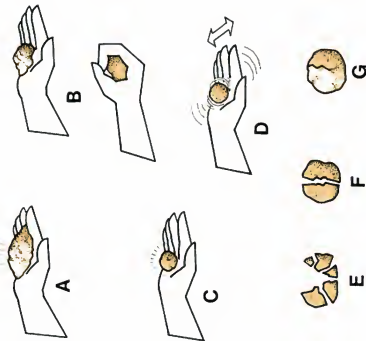
- Si la balle, sèche ou mouillée, ne fait que quelques éclaboussures (C), le sol est de **texture grossière**.
- Si, une fois sèche, la balle laisse un impact semblable à celui d'un fusil de chasse (D), et si, quand elle est humide, elle garde sa forme après avoir été projetée sur une cible à moyenne distance, le sol est de **texture moyennement grossière**.
- Si la balle se brise au moment de l'impact (E) quand elle est sèche, et conserve sa forme quand elle est humide sans adhérer à la cible, le sol est de **texture moyenne**.
- Si la balle conserve sa forme après des lancers à longue distance (F) quand elle est humide, et adhère à la cible tout en étant facile à détacher, le sol est de **texture moyennement fine**.
- Si la balle reste fortement collée à la cible (G) quand elle est humide, et devient un projectile très dur quand elle est sèche, le sol est de **texture fine**.



64 Classes texturales du sol et essais en champ permettant de les déterminer

Pour déterminer de façon plus précise la classe texturale

On peut attribuer à chaque sol une **classe texturale** basée sur la proportion des particules de sable, de limon ou d'argile qu'il contient. Ces classes texturales sont définies dans le **tableau 4** et présentées au **tableau 6**. Sur le terrain, il y a plusieurs manières de déterminer la classe texturale de la **partie de terre fine** d'un échantillon de sol donné, à savoir :



Test de la boulette secouée

- Prenez une poignée de sol et mouillez-la bien (A).
- Faites-en une boulette de 3 à 5 cm de diamètre (B).
- Placez la boulette sur la paume de la main (C); elle a un aspect luisant.
- Secouez-la rapidement d'un côté à l'autre (D) en observant sa surface...

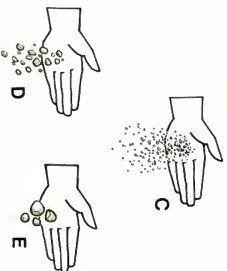
— Si la surface de la boulette ternit rapidement et que vous puissiez facilement briser la boule entre vos doigts (E), c'est un **sable** ou un **sable limoneux**.

— Si la surface de la boulette met plus de temps à ternir et que vous sentiez une petite résistance en brisant la boule entre les doigts (F), c'est un **limon** ou un **limon argileux**.

— Si la surface de la boule ne change pas d'aspect et que vous ayez du mal à la briser (G), c'est une **argile** ou une **argile silteuse**.

Test de l'écrasement à sec

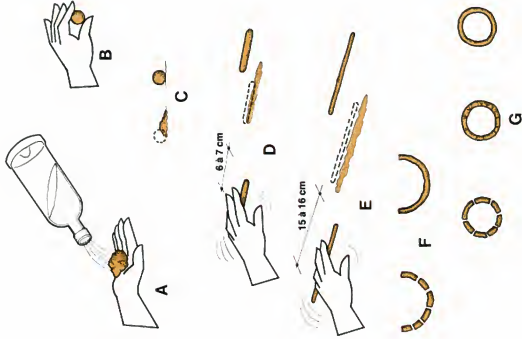
- Prenez un petit échantillon de sol sec dans la main (A).
- Ecrasez-le entre vos doigts (B)...
- Si l'échantillon offre peu de résistance et tombe en poussière (C), c'est un **sable fin** ou un **sable limoneux fin**, ou contenant **très peu d'argile**.
- Si l'échantillon offre une résistance moyenne (D), c'est une **argile siltueuse** ou une **argile sabileuse**.
- Si'il offre une grande résistance (E), c'est de l'**argile**.



Test des manipulations successives

Ce test vous donnera une idée plus juste de la texture du sol, mais il faut l'effectuer en suivant scrupuleusement la marche indiquée ci-après. En effet, pour qu'il réussisse, il faut à chaque épreuve une proportion de plus en plus grande de limon et d'argile.

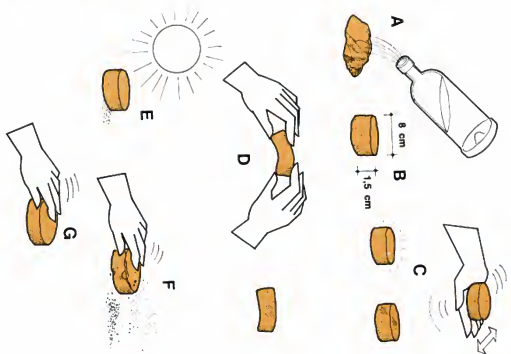
- Prenez une poignée de sol et mouillez-la un peu dans votre main (A) pour que le sol commence à s'agglomérer, mais sans adhérer à votre main.
- Roulez l'échantillon (B) pour en faire une boule d'environ 3 cm de diamètre.
- Posez la boule (C)...
 - Si elle se désagrège, c'est du **sable**.
 - Si elle reste agglomérée, passez à l'épreuve suivante.
- Roulez la boulette et donnez-lui la forme d'une saucisse de 6 à 7 cm de long (D)...
 - Si elle ne garde pas cette forme, c'est un **sable limoneux**.
 - Si elle garde cette forme, passez à l'épreuve suivante.
- Continuez à rouler la saucisse jusqu'à ce qu'elle ait une longueur de 15 à 16 cm (E)...
 - Si elle ne garde pas cette forme, c'est un **limon sableux**.
 - Si elle garde cette forme, passez à l'épreuve suivante.
- Essayez de courber la saucisse en demi-cercle (F)...
 - Si vous n'y parvenez pas, c'est un **limon**.
 - Si vous y parvenez, passez à l'épreuve suivante.
- Continuez à recourber la saucisse pour former un cercle complet (G)...
 - Si vous n'y parvenez pas, c'est un **limon lourd**.
 - Si vous y parvenez et que la saucisse se fissure légèrement, c'est une **argile légère**.
 - Si vous y parvenez, sans que la saucisse se fissure, c'est une **argile**.



Test des secousses: comment différencier l'argile du limon

Les sols limoneux comme les sols argileux ont une texture très lisse. Il est très important de pouvoir distinguer ces deux sols car ils ont parfois des réactions différentes en tant que matériaux de construction des barrages et des digues où le limon peut ne pas être assez plastique (voir page 104). Les sols limoneux, quand ils sont mouillés, peuvent devenir très instables, tandis que l'argile est un matériau de construction très stable.

- Prenez un échantillon de sol et mouillez-le bien (A).
- Faites-en un petit pâte d'environ 8 cm de diamètre et de 1,5 cm d'épaisseur (B).
- Posez le pâte dans la paume de votre main: il a un aspect terne.
- Secouez le pâte latéralement tout en observant sa surface (C)...
- Si elle semble luisante, c'est du limon.
- Si elle semble terne, c'est de l'argile.
- Confirmez ce résultat en recourbant le pâte entre vos doigts (D).
- Si sa surface redevient terne, c'est du limon.
- Laissez le pâte de côté jusqu'à ce qu'il sèche complètement (E)...
- S'il devient friable et que de la poussière s'en détache quand vous le froitez avec vos doigts (F), c'est du limon.
- S'il devient ferme et qu'aucune trace de poussière ne s'en détache quand vous le froitez avec vos doigts (G), c'est de l'argile.



Note. Enregistrez les résultats du test des secousses — effet rapide, lent, très lent, nul — en fonction de la vitesse avec laquelle la surface du pâte devient luisante quand vous le secouez.

TABLEAU 4
Classes texturales USDA ¹

Texture du sol
(Pourcentages, poids sec)

Appellation courante des sols (texture générale)	Sable	Limon (silt)	Argile	Classe texturale
Sols sableux (texture grossière)	86 - 100 70 - 86	0 - 14 0 - 30	0 - 10 0 - 15	Sable Sable limoneux
Sols limoneux (texture modérément grossière)	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Limon sableux
Sols limoneux (texture moyenne)	23 - 52 20 - 50 0 - 20	28 - 50 74 - 88 88 - 100	7 - 27 0 - 27 0 - 12	Limon limon-silleux Limon très fin (silt)
Sols limoneux (texture modérément fine)	20 - 45 45 - 80 0 - 20	15 - 52 0 - 28 40 - 73	27 - 40 20 - 35 27 - 40	Limon argileux Limon sablo-argileux Limon silto-argileux
Sols argileux (texture fine)	45 - 65 0 - 20 0 - 45	0 - 20 40 - 60 0 - 40	35 - 55 40 - 60 40 - 100	Argile sableuse Argile siltueuse Argile

¹ Basées sur la classification granulométrique USDA représentée au tableau 2.

65 Essais de laboratoire permettant de déterminer les classes texturales

Si vous avez besoin d'établir de façon plus précise la classe texturale de votre sol, il vous faut porter des échantillons perturbés de sol à un laboratoire d'analyses qui établira quantitativement la composition granulométrique. C'est ce qu'on appelle une **analyse mécanique du sol**. Voici quelques opérations que le laboratoire d'analyses pédologiques va effectuer :

- Vos échantillons seront séchés.
- Les particules mesurant plus de 2 mm, comme les graviers et les pierres, seront éliminées.
- Le reste de l'échantillon, composé de terre fine, sera finement broyé pour détacher toutes les particules.
- Le poids total de cette terre fine sera mesuré avec précision.
- On filtrera cette terre fine à travers plusieurs tamis*, de mailles différentes, le plus fin ayant des trous de 0,1 mm de diamètre environ.
- Le poids du contenu de chaque tamis sera calculé séparément et exprimé en pourcentage du poids total initial de terre fine.
- Le poids des très petites particules de limon et d'argile qui auront traversé le tamis le plus fin sera mesuré par sédimentation. Il sera également exprimé en pourcentage du poids total initial de terre fine.
- Echantillon par échantillon, sous la forme d'une liste (voir tableau 5).
- Echantillon par échantillon sur des fiches séparées; un exemple de fiche d'analyse mécanique d'un sol est donné à la page 76.
- Une série de tableaux plus détaillés (voir section 67).

Ces résultats vous permettront soit d'attribuer à chaque échantillon une classe texturale particulière au moyen de la **méthode du triangle textural** (voir section 66), soit de tracer une **courbe granulométrique**, d'où vous pourrez tirer vos propres conclusions (voir section 67).

Note. Il importe de savoir quel est le système de classification granulométrique (tableau 2) employé par le laboratoire d'analyse. S'il s'agit du système employé par le **Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA)** qui appelle **limon** les particules comprises entre 0,05 et 0,002 mm, suivez la méthode prescrite. Par contre, si le laboratoire utilise un autre système, le **système international**, par exemple, qui désigne comme **limon** les particules comprises entre 0,02 et 0,002 mm, il vous faudra demander un calibrage supplémentaire des particules comprises entre 0,05 et 0,02 mm de diamètre (limon grossier). Vous pourrez alors adapter les résultats qui vous auront été communiqués au système USDA et utiliser la méthode du triangle textural décrite ci-après.

D'ordinaire, il n'est pas nécessaire d'effectuer une analyse mécanique complète de l'échantillon de sol. Pour vos besoins, une simple analyse granulométrique suffira sans doute. Elle vous donne le **pourcentage des particules de sol d'un diamètre égal ou supérieur à 0,075 mm**. Si le pourcentage est inférieur à 50 pour cent, c'est un **sol à grain fin** (texture fine). Si le pourcentage est supérieur à 50 pour cent, c'est un **sol à grain grossier** (texture grossière). Cette information permet d'apprécier la qualité du sol, comme il est montré dans les sections 112 et 113.

Note. Le calibre 0,075 mm correspond à la dimension des mailles du tamis standard N° 200, aux États-Unis. Pour les ingénieurs, il représente la limite de séparation entre le sable d'une part et le limon + argile d'autre part (voir tableau 2, ligne 6).

Exemple

Modèle de fiche d'analyse mécanique du sol

Prospection N°		Terrain N°		Laboratoire N°	
Lieu		Profondeur			
Type de sol					

ANALYSE MÉCANIQUE		CLASSIFICATION INTERNATIONALE	
Diamètre (mm)	Apportations agréées	Fraction	Diamètre (mm)
2-1	Sable très grossier	I	2,0-0,2
1-0,5	Sable grossier	II	0,2-0,02
0,5-0,25	Sable moyen	III	0,02-0,002
0,25-0,1	Sable fin	IV	moins de 0,002
0,1-0,05	Sable très fin		
0,05-0,002	Limons (silt)		
moins de 0,002	Argile		
Total (calculé à partir d'un échantillon dépourvu de matière organique et sèche au four)		Total (calculé à partir d'un échantillon dépourvu de matière organique et sèche au four)	

AUTRES CLASSES	
Moins de 0,005 mm	=
Plus de 2,0 mm	=
Carbone organique	=
pH	=

Remarques:	
Date du rapport: LABORATOIRE D'ANALYSE MÉCANIQUE	

TABLEAU 5

Analyse mécanique du sol — analyses granulométriques, classes texturales et pH de quelques échantillons de sol

Echantillon N°	Sable	Limons (silt) Pourcentage	Argile	Classe texturale	pH
1	43,0	28,0	29,0	Limon argileux	9,4
2	70,0	24,0	6,0	Limon sableux	7,6
3	78,0	18,0	4,0	Sable limoneux	7,8
4	44,0	42,0	14,0	Limon	7,9
5	67,0	15,5	17,5	Limon sableux	7,4
28	29,0	30,0	41,0	Argile	
35	65,0	12,5	22,5	Limon sablo-argileux	
36	21,0	74,0	5,0	Limon siltieux	
39	86,0	10,0	4,0	Sable	
45	56,0	24,0	20,0	Limon sableux	
46	41,0	46,5	12,5	Limon	
47	48,0	34,5	17,5	Limon	
50	47,5	20,0	32,5	Limon sablo-argileux	
325	9,2	22,0	68,8	Argile	
312	27,2	12,0	60,8	Argile	
318	27,2	16,0	56,8	Argile	
A4-30	66	25	9	Limon sableux	
A5-30	72	23	5	Sable limoneux	
A5-180	71	28	1	Limon	
A7-60	52	35	13	Limon	
A7-120	64	28	8	Limon sablo-argileux	

**66 Pour déterminer les principales classes texturales:
la méthode du triangle textural**

La méthode du triangle textural se fonde sur la **classification granulométrique de l'USDA**, qui répartit les particules de la façon suivante.

- Le limon regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre 0,002 et 0,05 mm.
- L'**argile** comprend toutes les particules dont le calibre est inférieur à 0,002 mm.

Pour définir la texture de la fraction de **terre fine**, procédez de la manière suivante:

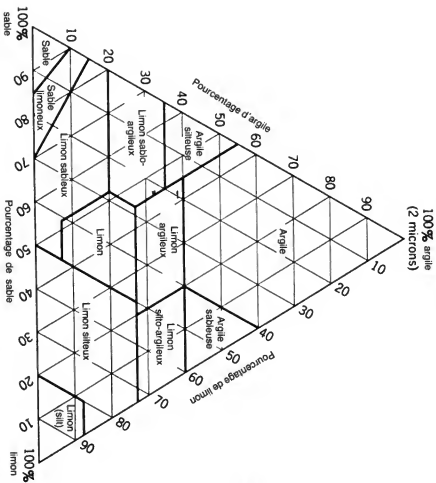
- Envoyez votre échantillon de sol à un laboratoire qui en fera l'analyse mécanique.
- Dès réception des résultats de cette analyse, trouvez, si nécessaire, les pourcentages respectifs de sable, de limon et d'argile, selon les définitions données ci-dessus, dans l'ensemble de la gamme granulométrique comprise entre 0,002 et 2 mm.

Déterminez la classe texturale de chaque échantillon du sol à l'aide du **diagramme triangulaire** représenté au **tableau 6**, en procédant comme suit:

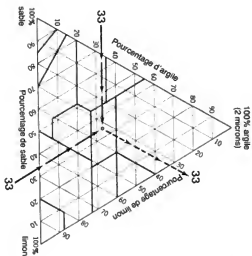
- Repérez le pourcentage de **sable** le long de la base du triangle et suivez une ligne remontant vers la gauche (voir **tableau 6**, petit triangle de droite).
- Repérez le pourcentage d'**argile** le long du côté gauche du triangle et suivez vers la droite la ligne horizontale jusqu'à ce que vous croisie la ligne précédente représentant le sable (point o). Ce point vous donne la texture de l'échantillon de sol.
- Vérifiez si ce point correspond au pourcentage de **limon** de votre analyse, en suivant une ligne partant du point o et en remontant vers la droite jusqu'à ce que vous atteigniez le pourcentage de limon se trouvant sur le côté droit du triangle.
- Si la valeur correspond au pourcentage de limon, la texture de votre échantillon de sol se trouve définie par la **zone du triangle** dans laquelle tombe le point o.

TABLEAU 6

Diagramme triangulaire des classes texturales de sol
d'après les dimensions des particules USDA



NOTE. Les classes texturales de sol montrées dans la partie gauche du grand triangle sont les meilleures pour la construction d'étangs pédocles.



DIMENSIONS DES PARTICULES

Argile	<0,002 mm
Limon (silt)	0,002-0,05 mm
Sable	0,05-2 mm

67 La courbe granulométrique

L'analyse mécanique courante fournit des pourcentages pour les **trois classes granulométriques** du sable, du limon et de l'argile, telles que la classe du limon argileux citée dans l'exemple.

Exemple

Analyse mécanique de type courant

Pourcentage	
Sable	32
Limon	38
Argile	30
= Limon argileux	

Si cette analyse ne suffit pas, certains laboratoires peuvent effectuer, en séparant ultérieurement les particules, une analyse beaucoup plus détaillée, qui donnera les proportions des particules de sol pour un plus grand nombre de classes. Les résultats de ce genre d'analyse peuvent se présenter sous la forme d'un simple tableau où le poids de chaque classe de particule est donné en pourcentage du poids sec total de terre fine de l'échantillon, comme le montre l'exemple suivant.

Exemple

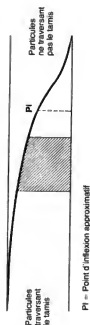
Analyse mécanique plus détaillée

Pourcentage	Dimensions des particules (mm)	Pourcentage du poids sec total
Sable 32	1	0,3
	0,2	1,7
	0,074	17
	0,04	13
Limon 38	0,025	17
	0,02	9
	0,01	8
	0,005	3
	0,0035	0,5
	0,002	0,5
Argile 30	<0,002	—
	—	—
= Limon argileux		

Les résultats peuvent aussi être représentés par une courbe granulométrique (CG), que le prochain paragraphe décrit et illustre.

Exemple

Courbe granulométrique typique



Note. Pour les particules très petites (diamètre inférieur à 0,1 mm), les pédologues utilisent souvent une unité de mesure appelée micron, pour éviter d'avoir un trop grand nombre de décimales.

1 micron (μ) = 0,001 mm (ou un millième de millimètre)
1 mm = 1 000 μ

Exemples

0,075 mm = 75 μ 0,0035 mm = 3,5 μ
0,002 mm = 2 μ 0,0007 mm = 0,7 μ

Qu'est-ce qu'une courbe granulométrique?

Pour obtenir une courbe granulométrique, on utilise un graphique dont l'axe horizontal représente les logarithmes du calibre des particules, allant en ordre décroissant vers la droite, et dont l'axe vertical représente les pourcentages cumulatifs des fréquences de calibres des particules.

Note. L'axe vertical porte généralement deux échelles graduées. Sur le côté gauche, les pourcentages s'appliquent au poids sec des particules qui traversent des tamis d'un maillage déterminé. Ces pourcentages augmentent du bas vers le haut. Sur le côté droit, les pourcentages s'appliquent au poids sec des particules qui ne traversent pas des tamis de maillage déterminé. Ces pourcentages augmentent du haut vers le bas.

Que montre la courbe granulométrique?

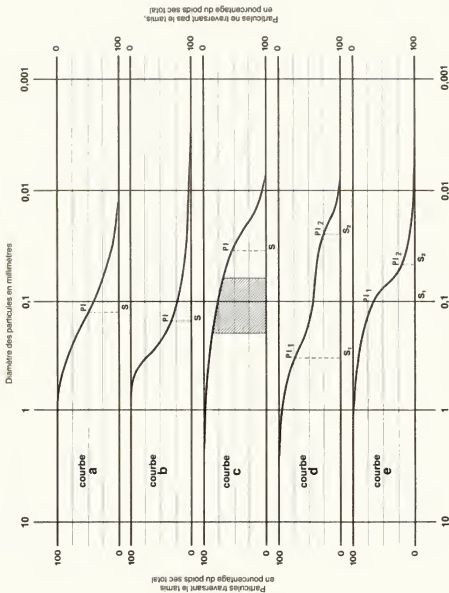
Si vous observez les courbes granulométriques du **tableau 7**, vous pouvez faire les remarques suivantes:

- Le point d'inflexion (P1) de la courbe vous montre le calibre de particule le plus fréquent en fonction du poids. Dans certains cas, il peut y avoir plusieurs points d'inflexion, par exemple si l'échantillon (un échantillon composé) contient plus d'un type de sol (voir tableau 7, courbes d et e).
- Plus la courbe ou portion de la courbe est verticale, plus le calibre des particules est homogène. Une ligne verticale correspond à un calibre parfaitement homogène.
- Plus la courbe ou portion de la courbe est inclinée, plus les calibres des particules sont variés, plus les pores entre les particules sont petits et plus le sol est compact.
- La quantité totale de particules de sol comprise à l'intérieur d'une classe de particules déterminée est représentée par la zone qui se trouve au-dessous de la courbe entre les deux dimensions limites de cette classe, par exemple entre 0,08 et 0,3 mm (au tableau 7, zone hachurée, courbe c). Pour calculer cette quantité en pourcentage du poids total sec de l'échantillon de sol, reportez les points de la courbe qui correspondent à 0,08 et à 0,3 mm sur l'une des échelles verticales et calculez la différence des pourcentages. Dans le cas contraire, vous pouvez lire, sur l'échelle verticale de gauche, 68 pour cent et 75 pour cent. La différence est de 7 pour cent.

Note. Le tableau 8 montre cinq courbes granulométriques correspondant à cinq types de sols, allant du graveier/sable à l'argile lourde. Étudiez-les attentivement et notez la position relative de chaque courbe sur le graphique, son point d'inflexion et son inclinaison.

TABLEAU 7

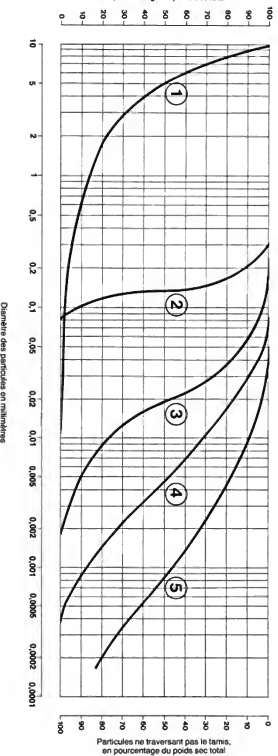
Courbes granulométriques typiques



- (a) Courbe normale de distribution
(b et c) Courbes pour des sols ayant des fractions plus grossières et plus fines non homogènes
(d et e) Courbes composites
Points d'inflexion approximatifs des courbes correspondant aux calibres de particules les mieux représentés (S)
Quantité totale de particules dont le calibre se situe entre 0,06 et 0,3 mm, en pourcentage du poids sec total de l'échantillon

TABLEAU 8

Courbes granulométriques de sols illustrant les résultats d'analyses mécaniques allant jusqu'aux très petites particules d'argile



Comment obtenir une courbe granulométrique

Certains laboratoires fournissent une courbe granulométrique pour les échantillons de sol, d'autres pas. Quand vous recevez les résultats d'une analyse mécanique, ils sont parfois accompagnés d'une courbe granulométrique. Vous recevrez un graphique représentant une courbe pour chaque échantillon. Le **tableau 10** montre une courbe granulométrique établie par un laboratoire pédologique pour un échantillon de sol.

Si votre laboratoire ne vous fournit pas de courbe granulométrique, il vous enverra les résultats sous la forme d'un tableau, indiquant la fréquence (en pourcentage du poids sec total) d'un certain nombre de calibres de particules. Ce tableau peut vous servir à établir vous-même la courbe granulométrique. Le **tableau 9** donne un modèle de graphique en blanc que vous pouvez utiliser pour préparer une courbe granulométrique. Utilisez, si possible, une photocopie du **tableau 9** pour tracer chaque courbe. Vous pourrez utiliser le graphique fourni en blanc autant de fois que nécessaire.

Comment tracer une courbe granulométrique

Pour tracer une courbe granulométrique, procédez comme suit:

- Calculez les **pourcentages cumulatifs** des fréquences correspondant à chaque calibre de particule, en **commençant par le plus grand**.
- Inscrivez, au crayon, les pourcentages cumulatifs sur l'**échelle verticale située à droite**, en utilisant une photocopie du modèle de graphique donné au **tableau 9**.
- Joignez ces points en traçant une courbe continue: celle-ci est une courbe granulométrique.

Note. Rappelez-vous que les pourcentages cumulatifs représentent les poids des particules qui n'ont **pas traversé** des tamis d'un maillage déterminé. Il faut donc, pour reporter les pourcentages cumulatifs, utiliser l'**échelle verticale de droite** dont le 0 est au sommet.

Exemple

A partir de l'analyse mécanique plus détaillée décrite à la page 80, calculez les pourcentages cumulatifs correspondant à chaque calibre de particule.

Calcul des pourcentages cumulatifs

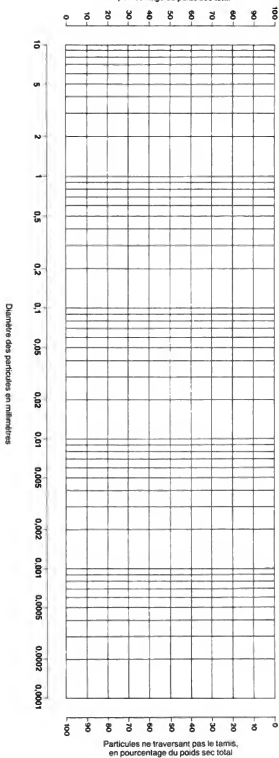
VOUS RECEVEZ CES DONNÉES		VOUS CALCULEZ CES CHIFFRES	
Dimension des particules (mm)	Pourcentage du poids sec total	Pourcentage cumulatif	
1	0,3	0,3	
0,2	1,7	2	
0,075	17	19	
0,04	13	32	
0,025	17	49	
0,02	9	58	
0,01	8	66	
0,005	3	69	
0,0035	0,5	69,5	
0,002	0,5	70	

Pointez les pourcentages cumulatifs sur le graphique vierge en utilisant l'échelle verticale de droite.

Tracez la courbe granulométrique en joignant ces points.

TABLEAU 9

Echelle de référence pour tracer les courbes granulométriques



Comment utiliser une courbe granulométrique pour obtenir les pourcentages de fréquence des particules de calibres donnés

Pour obtenir, par la lecture d'une courbe granulométrique, les pourcentages de fréquence des particules de calibres déterminés, par exemple pour trouver la classe texturale en utilisant la méthode du triangle textural, on procède comme suit :

- Sur l'échelle verticale de droite (le 0 au sommet), repérez, à partir de CG, les pourcentages cumulatifs correspondant aux calibres de particules voulus, par exemple les particules de 0,05 mm (limite du sable et du limon) et de 0,002 mm (limite du limon et de l'argile).
- Inscrivez ces données sur un tableau à deux sens qui donne le pourcentage cumulatif correspondant à chaque calibre de particule, en commençant par le plus grand.
- Calculez la fréquence de chaque classe granulométrique.

Exemple

Vous avez reçu du laboratoire la courbe granulométrique figurant au tableau 10.

Pour déterminer la classe texturale de votre sol, vous voulez connaître les pourcentages de fréquence des particules situées dans les classes 2-0,05 mm (sable), 0,05-0,002 mm (limon) et au-dessous de 0,002 mm (argile). Vous désirez aussi connaître le pourcentage des particules de 0,075 mm.

Lisez les pourcentages cumulatifs de ces calibres de particules et insérez ces chiffres dans le tableau à deux sens de la manière suivante :

Dimensions des particules (mm)	Pourcentage cumulatif
2	0
0,05	28
0,002	70
0,075	19

Vous avez déjà appris (page 81) comment calculer la quantité totale des particules de sol (fréquence) appartenant à une classe granulométrique donnée. Calculez maintenant, de la même manière, la fréquence des particules de sable, de limon et d'argile (dans cet ordre), à partir de la courbe granulométrique figurant au tableau 10. On trouve les résultats suivants :

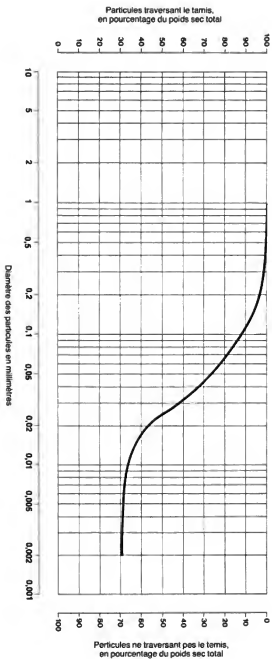
	mm	Pourcentage
Sable	2-0,05	28 - 0 = 28
Limon	0,05-0,002	70 - 28 = 42
Argile	moins de 0,002	100 - 70 = 30

Introduisez ces valeurs dans le triangle textural (voir tableau 6). Le sol est un limon argileux, c'est-à-dire un sol de texture moyennement fine.

D'après le pourcentage correspondant aux particules de 0,075 mm, vous concluez que l'échantillon contient 19 pour cent de particules ayant un diamètre supérieur à 0,075 mm.

TABEAU 10

Courbe granulométrique typique établie par un laboratoire d'analyse des sols



Autres utilisations de la courbe granulométrique : calibre effectif et coefficient d'uniformité

La courbe granulométrique a une autre fonction importante : elle permet d'exprimer en valeurs numériques les caractéristiques de la distribution granulométrique d'un sol, ce qui facilite la comparaison entre les résultats provenant d'un grand nombre d'échantillons. Les ingénieurs emploient fréquemment la méthode de Hazen, qui donne deux valeurs particulièrement appropriées aux sables. Ce sont :

- Le **calibre effectif** (D_{10}) d'un sol : diamètre, en millimètres, du tamis au travers duquel passent 10 pour cent (en poids) de l'échantillon.

Note. Cette valeur donne une estimation des calibres de particules les plus importants du point de vue du poids : 10 pour cent du sol consistent en particules inférieures à D_{10} , tandis que 90 pour cent du sol consistent en particules supérieures à D_{10} .

- Le **coefficient d'uniformité** (U) d'un sol : rapport entre le diamètre (en mm) de perforation d'un tamis à travers lequel passent 60 pour cent (en poids) de l'échantillon (D_{60}) et le calibre effectif (D_{10}), ou encore $U = D_{60} \div D_{10}$.

Note. Quand la courbe granulométrique est une ligne verticale ($U = 1$), les particules de l'échantillon de sol ont un calibre parfaitement homogène. Mais, généralement, U n'est pas égal à 1, et plus la différence est grande, plus le calibre des particules varie à l'intérieur de l'échantillon.

Pour obtenir D_{10} et D_{60} , trouvez les points où la courbe granulométrique recoupe les lignes horizontales qui correspondent, sur l'échelle verticale de gauche, aux pourcentages cumulatifs de 10 et de 60 pour cent respectivement.

Exemple

Pour calculer, à partir des quatre courbes granulométriques du tableau 11 (courbes 1-4), les calibres effectifs et les coefficients d'uniformité, procédez comme suit :

Tracez sur le graphique des lignes horizontales partant des points 10 pour cent et 60 pour cent respectivement, inscrits sur l'échelle verticale de gauche.

Trouvez, le long de la ligne des 10 pour cent, les valeurs D_{10} des courbes, ce qui donne les résultats suivants :

Courbe 1	$D_{10} = 0,6$	mm
Courbe 2	$D_{10} = 0,1$	mm
Courbe 3	$D_{10} = 0,045$	mm
Courbe 4	$D_{10} = 0,00085$	mm

Trouvez, de la même manière, le long de la ligne des 60 pour cent, les valeurs D_{60} des courbes :

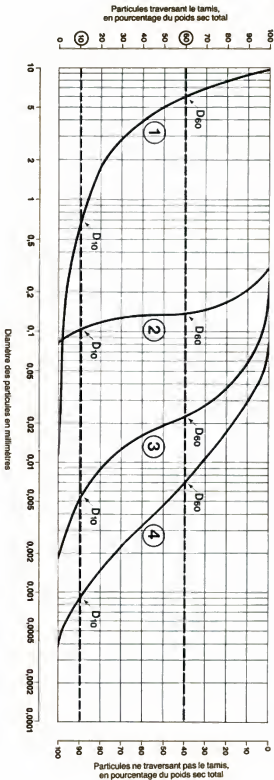
Courbe 1	$D_{60} = 6$	mm
Courbe 2	$D_{60} = 0,14$	mm
Courbe 3	$D_{60} = 0,023$	mm
Courbe 4	$D_{60} = 0,0065$	mm

Calculez les coefficients d'uniformité $U = D_{60} \div D_{10}$:

Courbe 1	$U = 6 \div 0,6$	$= 10$
Courbe 2	$U = 0,14 \div 0,1$	$= 1,4$
Courbe 3	$U = 0,023 \div 0,045$	$= 0,5$
Courbe 4	$U = 0,0065 \div 0,00085$	$= 7,6$

Note. Plus la courbe granulométrique est verticale (et U plus proche de 1), plus l'échantillon de sol est homogène.

TABLEAU 11
Calcul des calibres effectifs et des coefficients
d'uniformité à partir de courbes granulométriques



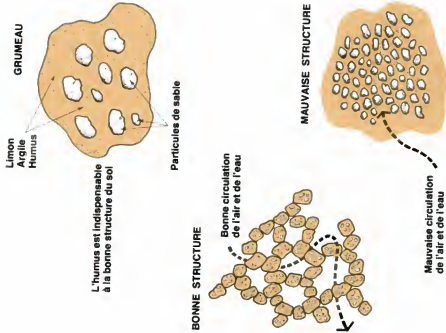
7 STRUCTURE DU SOL

70 Définition et importance de la structure du sol

On définit la structure du sol comme le mode d'organisation des différentes particules de sable, de limon et d'argile entre elles. Les particules isolées, une fois assemblées, apparaissent comme des particules plus grosses. C'est ce qu'on appelle des **grumeaux**. Ces grumeaux s'organisent en **agrégats**.

Les particules et les grumeaux peuvent s'agréger de différentes façons, ce qui donne diverses structures de sol. De la structure dépend en grande partie la circulation de l'eau dans le sol. C'est pourquoi, pour vous qui prévoyez de construire une ferme piscicole, il importe que vous connaissiez la structure de votre sol. Il est possible que vous ne puissiez pas recueillir vous-même toutes les informations nécessaires, mais les techniciens du laboratoire d'analyse des sols seront à même de vous les fournir, après examen de vos **échantillons de sol Intacts**. Ils pourront vous dire si votre sol a une bonne ou une mauvaise structure (pores/canaux capillaires, réseau, etc.). Ils pourront également vous renseigner sur la circulation de l'eau ou la perméabilité.

Exemples



71 Description de la structure du sol

Pour décrire avec précision la structure d'un sol, on emploie les termes suivants: **degré de structure** (intensité d'aggrégation), **classe** (taille moyenne des agrégats), et **type de structure** (forme de l'aggrégation). Il arrive que l'on trouve, dans certains sols, plusieurs sortes d'aggrégations: il faut alors les décrire séparément. Dans les paragraphes ci-après, on vous explique brièvement les divers termes les plus couramment utilisés pour décrire la structure d'un sol. Cela vous aidera à être meilleur juge de la qualité du sol sur lequel vous envisagez de construire des élanges piscicoles. Vous apprendrez aussi à définir vous-même, en examinant le profil, la structure du sol. Pour des exemples de description de structures du sol, consultez le **tableau 17A**.

Note. Il est plus facile d'identifier les caractéristiques de la structure d'un sol quand celui-ci est **sec** ou à **peine humide**. Quand vous étudiez le profil d'un sol en vue de déterminer le degré de structure, examinez-le à l'état frais.

72 Degrés de structure du sol

Par définition, le degré de structure est l'**intensité d'aggrégation**, qui exprime la plus ou moins grande **cohésion** d'assemblage des particules à l'intérieur des grumeaux et l'**adhérence** entre les grumeaux dans les agrégats. Comme ces propriétés varient avec la teneur du sol en eau, il faut établir le degré de structure alors que le sol n'est ni exceptionnellement humide, ni exceptionnellement sec. Il y a quatre principaux degrés de structure, classés de 0 à 3, comme suit:

0 Sans structure. Il n'y a aucun agrégat ni organisation visible des lignes naturelles de faiblesse, comme dans:

- une **structure massive** (sol cohérent), où l'horizon entier paraît cimenté en une seule masse;
- une **structure à grains isolés** (sol non cohérent), où les particules ne montrent aucune tendance à s'agréger, comme dans le cas du sable pur.

1 Structure faible. On y observe à peine, par endroits, des agrégats indistincts. Quand on le détache du profil, le matériau de sol se brise en un mélange comprenant un très petit nombre d'agrégats entiers, de nombreux agrégats brisés et quelques éléments hétérogènes.

2 Structure modérée. Le sol est bien constitué d'agrégats distincts, moyennement durables et visibles, mais non distincts dans un sol intact. Quand on le détache du profil, le matériau se brise en un mélange comprenant de nombreux agrégats entiers, quelques agrégats brisés et une petite quantité d'éléments hétérogènes.

3 Structure forte. Le sol est bien constitué d'agrégats distincts, durables et très visibles dans un sol intact. Quand on le détache du profil, le matériau consiste en très grande partie d'agrégats entiers et comprend un petit nombre d'agrégats brisés et peu ou pas d'autres éléments non agrégés.

73 Classes et types de structure des sols

Par définition, la **classe** de structure décrit la **taille moyenne des agrégats individuels**. On distingue généralement cinq classes, en fonction du type de structure du sol dont les agrégats proviennent. Ce sont les structures :

- Très fine ou très mince
- Fine ou mince
- Moyenne
- Grossière ou épaisse
- Très grossière ou très épaisse.

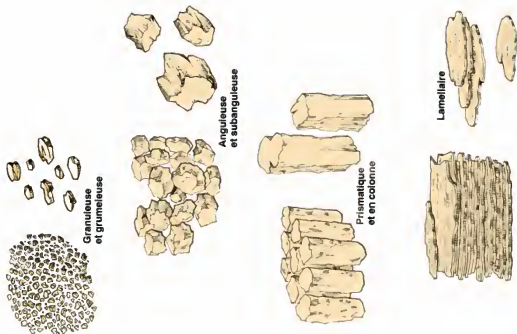
Par définition, le **type** de structure décrit la **forme des agrégats individuels**. Les pédologues considèrent généralement sept types de structures du sol, mais nous n'en utiliserons que quatre, classées de 1 à 4 comme suit :

1 Structure granulaire et grumeleuse. Les particules individuelles de sable, limon et argile s'agrégent en petits grains presque sphériques. L'eau circule très facilement dans ces sols. On les trouve couramment dans l'horizon A des profils pédologiques.

2 Structure anguleuse et subanguleuse. Les particules s'agrégent en blocs presque cubiques ou polyédriques, dont les angles sont plus ou moins tranchants. Des blocs relativement gros indiquent que le sol résiste à la pénétration et au mouvement de l'eau. On les trouve couramment dans l'horizon B où l'argile s'est accumulée.

3 Structures prismatique et en colonne. Les particules ont formé des colonnes ou piliers verticaux, séparés par des fentes verticales minuscules mais bien visibles. L'eau circule avec beaucoup de difficulté et le drainage est médiocre. On les trouve couramment dans l'horizon B où s'est accumulée l'argile.

4 Structure lamellaire. Les particules s'agrégent en fines plaquettes ou lamelles superposées horizontalement. Les plaquettes se chevauchent souvent, gênant considérablement la circulation de l'eau. On les trouve fréquemment dans les sols forestiers, dans une partie de l'horizon A et dans les sols à claypan*.



8 CONSTANCE DU SOL

80 Définition de la consistance du sol

La consistance du sol désigne à la fois la force qui retient ensemble les divers matériaux du sol ou la résistance des sols à la déformation et à la rupture. On mesure la consistance du sol sur des échantillons moulés, humides et secs. Pour des sols humides, on parlera aussi bien d'**adhérence** que de **plasticité** (voir les définitions ci-contre). On peut évaluer la consistance du sol, sur le terrain, au moyen de tests simples ou, pour plus de précision, au laboratoire.

Note. On obtiendra, dans chaque cas, des indications concernant la valeur relative du sol pour la construction d'étangs piscicoles, notamment quand on a établi la consistance du sol à l'état humide. Dans les tests décrits ci-après (sections 81 et 82), les sols particulièrement adaptés à la construction d'étangs sont imprimés en brun.

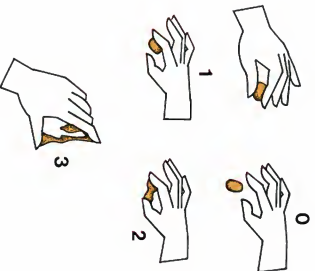
81 Détermination de la consistance d'un sol mouillé

L'analyse se fait quand le sol est saturé d'eau, immédiatement après une bonne pluie par exemple. Déterminez d'abord l'**adhérence**, c'est-à-dire la propriété qu'ont les matériaux du sol de coller à d'autres objets. Déterminez ensuite la **plasticité**, c'est-à-dire la propriété qu'ont des matériaux du sol de changer d'une façon continue de forme, mais non de volume, sous l'effet d'une pression constante et de garder la forme prise quand la pression disparaît.

Test de terrain: adhérence d'un sol mouillé

Pressez une petite quantité de sol mouillé entre le pouce et l'index pour voir s'il colle à vos doigts. Ensuite, écartez lentement les doigts. Évaluez l'adhérence de votre sol comme suit:

- 0 **Non collant**, si le sol ne reste pas, ou pratiquement pas, collé à vos doigts.
- 1 **Faiblement collant**, si le sol commence à coller à vos doigts mais se détache proprement de l'un ou de l'autre doigt et ne s'étire pas quand vous les écartez.
- 2 **Collant**, si le sol colle à la fois au pouce et à l'index, et tend à s'étirer un peu et à se déchirer plutôt qu'à se détacher de vos doigts.
- 3 **Très collant**, si le sol colle fortement à la fois au pouce et à l'index et s'étire quand vous écartez ces doigts.



Test de terrain: plasticité d'un sol mouillé

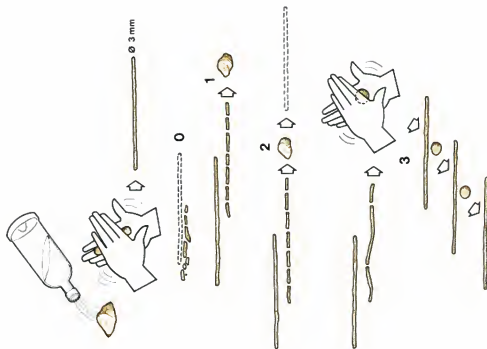
Roulez une petite quantité de sol mouillé entre les paumes de vos mains jusqu'à ce qu'il forme un long ruban cylindrique, semblable à un fil d'environ 3 mm d'épaisseur. Évaluez la plasticité de la manière suivante:

0 Non plastique, si vous ne parvenez pas à former ce fil.

1 Faiblement plastique, si vous parvenez à former le fil mais s'il peut être cassé facilement et retourné à son état initial.

2 Plastique, si le fil se forme mais si, après avoir été cassé et être retourné à son état initial, il ne peut être formé une seconde fois.

3 Très plastique, si le fil se forme et ne peut se casser facilement et si, quand on le casse, il peut être roulé de nouveau entre les mains et être reformé plusieurs fois.



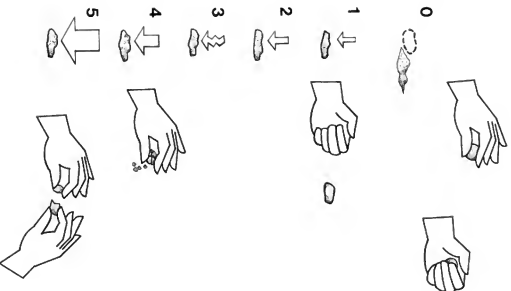
82 Détermination de la consistance d'un sol humide

Test de terrain: consistance d'un sol humide

L'analyse se fait quand le sol est humide mais non saturé d'eau, par exemple 24 heures après une bonne pluie.

Essayez d'écraser une petite quantité de sol humide en le pressant entre le pouce et l'index ou en l'appuyant contre la paume de votre main. Évaluez la consistance du sol humide de la manière suivante:

- 0 **Meuble**, si le sol est non cohérent (structure à grains isolés).
- 1 **Très friable**, si le sol s'écrase facilement sous l'effet d'une faible pression mais reste aggréé si on le presse de nouveau.
- 2 **Friable**, si le sol s'écrase facilement sous l'effet d'une pression faible à modérée.
- 3 **Ferme**, si le sol s'écrase sous l'effet d'une pression modérée, mais en opposant une résistance discernable
- 4 **Très ferme**, si le sol s'écrase très difficilement entre le pouce et l'index et nécessite une forte pression
- 5 **Extrêmement ferme**, si le sol s'écrase sous une très forte pression; il ne peut être écrasé entre le pouce et l'index mais doit être brisé morceau par morceau.

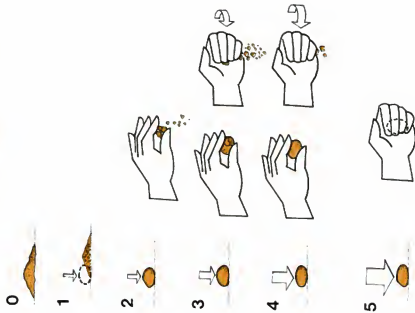


83 Détermination de la consistance d'un sol sec

Test de terrain: consistance d'un sol sec

L'analyse se fait quand le sol a été séché à l'air.

Essayez de briser une petite quantité de sol sec en le pressant entre le pouce et l'index ou en l'appuyant contre la paume de votre main. Évaluez la consistance de votre sol de la façon suivante:



- 0 Meuble**, si le sol est non cohérent (structure à grains isolés).
- 1 Molle**, si le sol est friable et à peine cohérent, et si une très légère pression suffit à le réduire en poudre ou en grains isolés.
- 2 Légèrement dure**, si le sol résiste à une pression légère, mais se brise facilement entre le pouce et l'index.
- 3 Dure**, si le sol résiste à une pression modérée, ne se brise presque pas entre le pouce et l'index, mais peut être brisé sans difficulté dans la main.
- 4 Très dure**, si le sol résiste à une forte pression, ne peut se briser entre le pouce et l'index, mais peut être brisé avec difficulté dans la main.
- 5 Extrêmement dure**, si le sol résiste à une pression extrême et ne peut être brisé dans la main.

84 Détermination de la consistance d'un sol à l'aide des limites d'Atterberg

Comme nous l'avons vu au sujet des divers tests effectués sur sol mouillé, humide et sec (sections 81 à 83), la consistance d'un échantillon de sol varie avec le volume d'eau qu'il contient. Ces modifications de la consistance d'un sol peuvent être mesurées avec exactitude au laboratoire, en suivant des procédures normalisées qui permettent de calculer les limites d'Atterberg. On peut utiliser ces limites pour juger de l'aptitude d'un sol pour la construction de petits barrages de terre et de digues d'étiages. Il vous faudra vous familiariser avec la terminologie relative à cette technique, ainsi qu'avec sa signification générale, pour être à même de comprendre la conception et la construction des étiages de pisciculture et d'en discuter avec des spécialistes.

Une limite d'Atterberg correspond à la **teneur en eau** à laquelle un échantillon de sol passe d'une consistance à une autre. Deux de ces limites présentent un intérêt particulier pour l'aquaculture: la **limite de liquidité** et la **limite de plasticité**, que l'on définit à partir de trois consistances de sol:

- **Consistance liquide:** boue fluide ou liquide.
- **Consistance plastique:** le malaxage et le modelage sont possibles.
- **Consistance semi-solide:** le pétrissage n'est plus possible et le volume diminue (retrait) quand l'échantillon sèche.

Limites d'Atterberg - consistance du sol

Pourcentage	
0	Solide
	Semi-solide
	LP
	Plastique
	LL
	Liquide
100	

Limite de liquidité (LL)

C'est la **teneur en eau** (pourcentage) à laquelle le sol passe de la consistance liquide à la consistance plastique à mesure qu'il sèche, ou de la consistance plastique à la consistance liquide à mesure qu'il s'impregne d'eau.

Limite de plasticité (LP)

C'est la **teneur en eau** (pourcentage) à laquelle le sol passe de la consistance plastique à la consistance semi-solide à mesure qu'il sèche, ou de la consistance semi-solide à la consistance plastique à mesure qu'il s'impregne d'eau.

La limite de plasticité représente le seuil inférieur de l'état plastique. Un petit supplément d'eau au-dessus de la limite de plasticité détruira la **cohésion*** du sol.

Note. Les laboratoires établissent facilement et à peu de frais ces limites à partir d'échantillons perturbés ou intacts. Ces limites apportent un précieux élément pour la classification des sols (voir chapitre 11). Les **tableaux 12 et 13** donnent des exemples de limites d'Atterberg.

Les limites de liquidité et de plasticité dépendent toutes deux de la quantité et du **type d'argile** présente dans le sol.

- Un sol à forte teneur en argile a généralement des valeurs LL et LP élevées.
- Les argiles colloïdales ont des valeurs LL et LP plus élevées que les argiles non colloïdales.
- Les sables, les graviers et la tourbe n'ont aucune plasticité; leur LP = 0.
- Les limons (silt) n'ont qu'une plasticité occasionnelle, leur valeur LP étant égale ou légèrement supérieure à 0.

Valeurs critiques des limites d'Atterberg en aquaculture

Pour construire une digue d'étang sans **noyau central** d'argile, le sol utilisé doit avoir une limite de liquidité égale à 35 pour cent, si l'on veut réaliser une **compaction** optimale.

Pour construire le **noyau** argileux imperméable d'une digue d'étang, il vous faut employer un sol ayant une LL inférieure à 60 pour cent et une LP inférieure à 20 pour cent.

Exemples

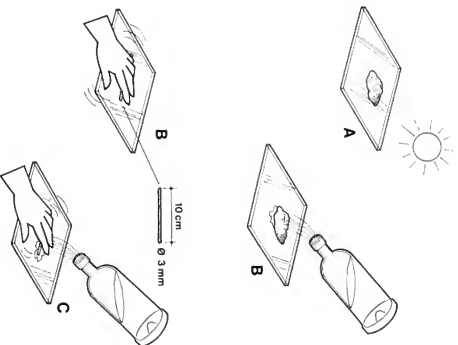
Tests de laboratoire typiques
indiquant les valeurs moyennes de LL, LP et IP

Type de sol	LL	LP	IP ¹
Sables	20	0	20
Limons	27	20	7
Argiles	100	45	55
Argiles colloïdales	399	46	353

¹ Voir page 104.

Détermination sur le terrain de la limite de plasticité: méthode du fil

- Prenez un échantillon de sol et laissez-le sécher (A).
- Ajoutez-y un peu d'eau et roulez-le sur une surface plate, une petite plaque de verre par exemple. Essayez de former un fil de 3 mm d'épaisseur et de 10 cm de longueur, sans qu'il se casse (B).
- Si vous n'y arrivez pas, ajoutez encore un peu d'eau et essayez de nouveau (C).
- Répétez cette opération, en ajoutant chaque fois un peu d'eau jusqu'à ce que vous puissiez former un fil. La teneur en eau correspondra alors à la limite de plasticité et pourra être exprimée en pourcentage du poids de l'échantillon.



85 Calcul de l'indice de plasticité et sa signification

A partir de la limite de liquidité et de la limite de plasticité, on peut calculer l'indice de plasticité (IP). C'est la différence numérique entre ces deux limites:

$$IP = LL - LP$$

L'indice de plasticité s'exprime en pourcentage du poids sec de l'échantillon de sol. Il indique l'étendue de la **gamme des teneurs en eau entre lesquelles le sol reste plastique**. En général, l'indice de plasticité ne dépend que de la quantité d'argile présente dans le sol. Il indique la finesse du sol et sa capacité de changer de forme sans varier de volume. Un IP élevé est le signe d'un excès d'argile ou de colloïdes dans le sol. Sa valeur est nulle toutes les fois que la valeur LP est supérieure ou égale à la valeur LL.

L'indice de plasticité donne aussi une indication de la **compressibilité** (voir section 103). Plus IP est élevé, plus la compressibilité du sol est grande. Les **tableaux 12 et 13** donnent des exemples de valeurs d'indice de plasticité.

Exemple

Plasticité de divers sols limoneux ou argileux

Catégorie	Sol	IP (pourcentage)	Degré de plasticité
I	Sable ou limon + traces d'argile + un peu d'argile	0- 1 1- 5 5-10	Non plastique Très faible plasticité Faible plasticité
II	Limon argileux	10-20	Moyenne plasticité
III	Argile silteuse Argile	20-35 >35	Grande plasticité Très grande plasticité

Valeurs critiques de l'indice de plasticité en aquaculture

Pour construire une digue d'étang sans **noyau*** argileux, le sol utilisé doit avoir un IP compris entre 8 et 20 pour cent. Pour obtenir une compaction optimale, IP devrait être aussi proche que possible de 16 pour cent (voir section 102).

Pour construire le **noyau*** central argileux et imperméable d'une digue d'étang, vous devriez utiliser un sol dont l'indice de plasticité est supérieur à 30 pour cent.

TABLEAU 12

Quelques résultats d'analyses mécaniques du sol
(analyse d'échantillons de sol perturbé prélevés dans des fosses à ciel ouvert)¹

Pourcentages des particules inférieures à : (sur la base du poids sec)										Limites d'Atterberg		Texture, terre fine	
Echantillon	Procteur (cm)	4,75	2	0,425	0,075	LL	LP	IP	Sable	Limon	Argile	Groupe de sol ²	Perméabilité
FOSSE A													
1	60	100	100	100	98	36	21	15	4,4	70,0	25,6	CL	Faible
2	120	100	100	99	96	37	24	13	8,6	69,2	24,2	CL	Faible
3	180	100	100	96	92	30	21	9	10,0	72,0	18,0	CL	Faible
4	240	100	100	98	94	32	19	13	7,8	69,0	23,2	CL	Faible
FOSSE B													
1	60	100	100	100	90				13,0	82,0	5,0	ML	Faible
2	120	100	100	98	88				15,0	80,4	4,6	ML	Faible
3	180	100	100	99	89	30	22	8	12,6	70,0	17,4	CL	Faible
4	240	100	100	90	86	38	23	15	15,0	58,4	26,6	CL	Faible

NOTE. Analyse

— Prolongement de limon (silt) avec un bon pourcentage d'argile.

— Classe texturale variant du limon silto-argileux au limon et à l'argile silteuse.

— Les limites d'Atterberg montrent que le sol est assez plastique et peut servir à la construction de levées de terre (bonne stabilité et faibles pertes par infiltration).

¹ Prospection pédologique d'un site d'écosystème à Sorcan Palé-Holocene (Utah Pradesh, Inde).² Voir section 111.

TABLEAU 13

**Quelques résultats d'analyses mécaniques du sol
(analyse d'échantillons de sol perturbé prélevés à la tarière)¹**

Limites d'Atterberg					Texture, terre fine				
Sondage N°	Profondeur (cm)	LL	LP	IP	Sable Pourcentage	Limon	Argile	Groupe de sol ²	
4	30	41,28	23,70	17,58	66	25	9	CI	
	60	37,43	19,70	17,73	74	20	6	CI	
	90	37,49	22,06	15,43	73	22	5	CI	
	120	34,52	22,16	12,36	69	27	4	CL	
	150	33,62	22,50	11,12	70	26	4	CL	
	180	28,36	18,61	9,75	73	26	1	CL	
5	30	32,40	18,00	13,60	72	23	5	CL	
	60	38,29	20,40	17,89	72	22	6	CI	
	90	39,18	21,76	17,42	70	24	6	CI	
	120	36,66	24,00	12,66	66	29	5	CI	
	150	29,53	24,00	5,53	71	28	1	CL-ML	
	180	28,81	21,70	7,11	71	28	1	CL-ML	
6	30	34,35	23,56	10,79	75	22	3	CL	
	60	43,35	24,82	18,53	60	30	10	CI	
	90	45,08	27,72	17,36	58	30	12	CI	
	120	37,32	26,84	10,48	72	26	2	CI	
	150	37,80	25,34	12,46	67	30	3	CI	
	180	34,61	25,35	9,26	73	25	2	CL	
7	30	47,42	34,21	13,21	51	37	12	CI	
	60	52,71	33,96	18,75	52	35	13	MH-OH	
	90	50,93	35,29	15,64	60	30	10	MH-OH	
	120	38,96	32,89	6,07	64	28	8	MI-Cl	
	150	62,45	45,57	16,88	58	30	12	MH-OH	
	180	61,72	36,15	23,57	57	31	12	MH-OH	

NOTE. Analyse

— Prédominance de sable, avec un bon pourcentage de limon (silt) et peu d'argile.

— Il n'y a qu'un peu d'argile dans les échantillons de sol perturbé prélevés à la tarière.

— Les limites d'Atterberg montrent que le sol est assez plastique et convient à la construction d'étais.

¹ Prospection pédologique d'un site de ferme piscicole (Majlaghi Gaura, Inde).² Voir section 111.

86 Diagramme de plasticité des sols à grains fins

Nombre de propriétés des argiles et des limons (sols cohérents), notamment leur **compressibilité*** (réaction au test des secousses et constance près de la limite de plasticité), peuvent être mis en corrélation avec la limite de liquidité et l'indice de plasticité. Casagrande a établi cette corrélation dans son diagramme de plasticité appliqué aux sols à grains fins. Ce diagramme se fonde sur les principes suivants:

- Au fur et à mesure qu'augmente la limite de liquidité des sols, leur plasticité et leur compressibilité augmentent également.
- Les valeurs $LL = 30$ pour cent et $LL = 50$ pour cent différencient les divers degrés de plasticité des sols inorganiques.
- A valeurs LL égales, la résistance à sec des sols inorganiques augmente généralement avec l'augmentation de l'indice de plasticité.

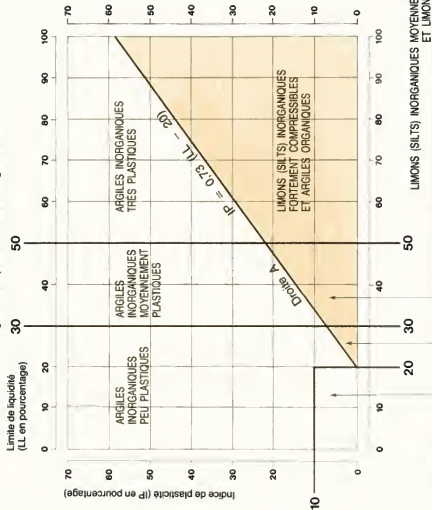
Le **diagramme de plasticité** des sols à grains fins (voir **tableau 14**) est divisé en six sections par la **ligne oblique A** tracée de façon que $IP = 0,73 (LL - 20)$ et par deux lignes verticales tracées de façon que $LL = 30$ pour cent et $LL = 50$ pour cent.

Chaque section du diagramme correspond à un **groupe de sols** aux propriétés mécaniques bien définies. Les trois sections situées **au-dessus de la ligne A** sont des argiles inorganiques de plasticité faible, moyenne ou forte. Les trois sections situées **au-dessous de la ligne A** sont des limons inorganiques de compressibilité variable, des limons organiques et des argiles organiques. Ces divisions constituent la base d'un système de classification des sols très utile (voir chapitre 11).

Note. Les sols ayant un indice de plasticité inférieur à 10 pour cent et une limite de liquidité inférieure à 20 pour cent sont des sols pulvéreux. Ils figurent dans une section séparée du diagramme de plasticité et ne sont pas concernés par les considérations précédentes.

TABLEAU 14

Diagramme de plasticité des sols à grains fins



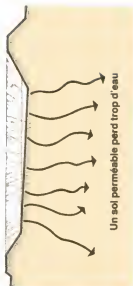
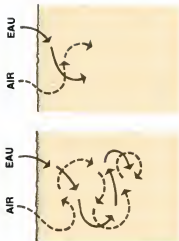
SOLS SANS COHESION

LIMONS (SILTS) INORGANQUES PEU COMPRESSIBLES

9 PERMÉABILITÉ DU SOL

90 Pourquoi est-il important de déterminer la perméabilité du sol?

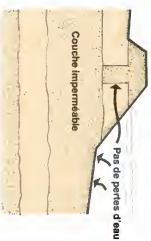
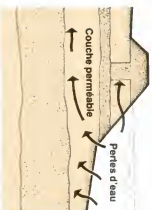
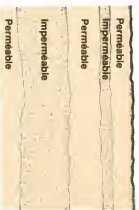
La perméabilité du sol est la propriété qu'a le sol de transmettre l'eau et l'air; c'est une des qualités les plus importantes à prendre en considération pour la pisciculture. Un étang construit dans un sol imperméable perdra peu d'eau par infiltration.



Plus le sol est perméable, plus l'eau s'infiltre. Parfois le sol est si perméable et l'infiltration si importante qu'il n'est pas possible d'y construire un étang sans recourir à des techniques spéciales de construction. Ces techniques sont le sujet d'un autre volume de la présente collection.

Les sols sont généralement disposés en **couches**, et souvent la qualité du sol varie considérablement d'une couche à l'autre. Il importe de déterminer, avant de construire l'étang, comment se répartissent les couches perméables et imperméables. L'étang doit être conçu de façon à éviter que le **fond** soit constitué d'une couche perméable qui laisserait passer trop d'eau dans le sous-sol par infiltration.

Les **digues** de l'étang devraient être construites avec un sol dont on est sûr qu'il retiendra l'eau. Une fois encore, c'est en fonction de ces critères qu'il faudra vérifier la qualité du sol.



91 Quels facteurs influent sur la perméabilité du sol?

De nombreux facteurs influent sur la perméabilité du sol. Certains, comme les fissures et les trous, sont très localisés, et il est difficile de calculer des valeurs représentatives de la perméabilité au départ des mesures faites. Une étude sérieuse des profils de sol est indispensable pour vérifier ces mesures. Mais c'est surtout en observant la texture du sol, la structure, la consistance, la couleur et les taches, la disposition des couches, les pores visibles et la profondeur de couches imperméables, telles que lit rocheux et *claypan**, que l'on pourra décider si les mesures de la perméabilité sont vraiment représentatives.

Note. Vous avez déjà appris que le sol est constitué d'un certain nombre d'horizons ayant chacun des propriétés physiques et chimiques généralement différentes. Pour déterminer la perméabilité du sol dans son ensemble, il convient d'étudier chaque horizon séparément.

92 La perméabilité du sol est liée à la texture et à la structure du sol

La taille des pores du sol a beaucoup d'importance en ce qui concerne le taux d'infiltration (pénétration de l'eau dans le sol) et le taux de percolation (déplacement de l'eau à l'intérieur du sol). La taille et le nombre des pores dépendent étroitement de la texture et de la structure du sol et influent également sur sa perméabilité.

Variation de la perméabilité en fonction de la texture du sol

En général, plus la texture du sol est fine, plus la perméabilité est lente, ainsi que le montrent les tableaux suivants:

Sol	Texture	Perméabilité
Sols argileux	Fine	De
Sols limoneux	Moderément fine	très faible
Sols sableux	Moderément grossière	à
	Grossière	très forte

Exemple

Perméabilité moyenne de sols
de textures différentes
(cm/heure)

Sable	5,0
Limons sableux	2,5
Limons	1,3
Limons argileux	0,8
Argile silteuse	0,25
Argile	0,05

Variation de la perméabilité en fonction de la structure

La structure peut influencer considérablement les taux de perméabilité indiqués ci-dessus, comme suit:

Type de structure	Perméabilité ¹
Lamellaire	- Se chevauchant beaucoup
	- Se chevauchant légèrement
Anguleuse	De très faible à très forte
Prismatique	
Granulaire	

¹ Elle peut varier aussi selon le degré de développement de la structure.

Il est de pratique courante de **modifier la structure du sol pour réduire la perméabilité**, par exemple en culture irriguée dans le cas de la mise en boue des rizières et dans certains travaux de génie civil lors de la **compaction**^{*} mécanique de barrages de terre. Pour les étangs piscicoles, on peut effectuer les mêmes opérations pour réduire les infiltrations.

93 Classes de perméabilité des sols

Il est d'usage de mesurer la perméabilité en calculant la quantité d'eau écoulée à travers le sol pendant un temps donné. On l'exprime généralement soit en tant que **taux de perméabilité**, en centimètres par heure (cm/h), en millimètres par heure (mm/h) ou en centimètres par jour (cm/j), soit en tant que **coefficient de perméabilité**, en mètres par seconde (m/s) ou en centimètres par seconde (cm/s).

Exemple

Coefficients de perméabilité (K) Type de sol - Perméabilité		K m/s	
K m/s		K m/s	
10		10	
10^{-1}	Gravier propre	10^{-1}	
10^{-2}		10^{-2}	
10^{-3}	Sables propres	10^{-3}	
10^{-4}	Mélanges de sables et de gravier propres	10^{-4}	Forte
10^{-5}		10^{-5}	
10^{-6}	Sables très fins	10^{-6}	
10^{-7}	Limons (sils) organiques et inorganiques	10^{-7}	
10^{-8}	Mélanges de sable, limon et argile	10^{-8}	Moderée
10^{-9}	Dépôts d'argile en couche, etc.	10^{-9}	
10^{-10}		10^{-10}	
10^{-11}	Sols imperméables, par exemple argiles homogènes situées au-dessous de la zone d'alération	10^{-11}	Faible

¹ Pratiquement imperméable

Pour les besoins de l'agriculture et de la conservation des terres, les classes de perméabilité des sols sont basées sur les taux de perméabilité. Pour les travaux de génie civil, elles sont basées sur le coefficient de perméabilité (voir tableaux 15 et 16).

Pour les besoins de la pisciculture, il y a deux manières de décrire la perméabilité des sols. Ce sont:

- Le coefficient de perméabilité.
- Le taux d'infiltration.

Pour décider de l'emplacement des étangs et pour la construction des digues, on utilise généralement le coefficient de perméabilité afin d'évaluer l'aptitude d'un horizon pédologique particulier.

- On peut construire des digues sans noyau argileux imperméable avec des sols ayant un coefficient de perméabilité inférieur à $K = 1 \times 10^{-4}$ m/s.
- Le fond des étangs peut être constitué de sols ayant un coefficient de perméabilité inférieur à $K = 5 \times 10^{-6}$ m/s.

Pour l'aménagement des étangs, c'est le taux des fuites par infiltration qu'on utilise le plus souvent:

- Pour la pisciculture commerciale, on considère comme acceptable un taux moyen d'infiltration de 1 à 2 cm par jour. En revanche, on devrait prendre des mesures correctives pour réduire la perméabilité du sol quand ce taux est plus important, en particulier quand il atteint ou dépasse 10 cm par jour.

94 Mesure de la perméabilité du sol au laboratoire

Pour mesurer au laboratoire la perméabilité d'un échantillon de sol intact, on soumet une colonne de sol à des conditions particulières, comme la saturation en eau et la pression constante sous eau. Les résultats vous seront communiqués soit sous la forme de **taux de perméabilité** (voir tableau 15), soit sous la forme de **coefficient de perméabilité** (voir tableau 16).

TABLEAU 15

**Classes de perméabilité des sols applicables
à l'agriculture et à la conservation**

Classes de perméabilité du sol	Taux de perméabilité ¹ cm/heure	cm/jour
Très faible	moins de 0,13	moins de 3
Faible	0,13 - 0,3	3 - 12
Modérément faible	0,5 - 2,0	12 - 48
Modérée	2,0 - 6,3	48 - 151
Modérément forte	6,3 - 12,7	151 - 305
Forte	12,7 - 25	305 - 600
Très forte	plus de 25	plus de 600

¹ Échantillons saturés sous une hauteur d'eau constante de 1,27 cm.

**Classes de perméabilité des sols
à l'usage du génie civil**

TABLEAU 16

Classes de perméabilité du sol	Coefficient de perméabilité (K en m/s)
Permeable	2×10^{-2}
Semi-permeable	1×10^{-3}
Imperméable	1×10^{-11}

95 Mesure de la perméabilité du sol sur le terrain

Pour mesurer la perméabilité du sol sur le terrain, vous pouvez utiliser l'un des tests suivants:

- L'évaluation visuelle du taux de perméabilité des horizons pédologiques.
- Un test de terrain simple permettant d'estimer la perméabilité du sol.
- Un test de terrain plus précis permettant de mesurer les taux de perméabilité.

Évaluation visuelle du taux de perméabilité d'horizons pédologiques

On peut évaluer la perméabilité de chaque horizon en étudiant visuellement les caractéristiques du sol qui, d'après les pédologues, ont un rapport étroit avec les classes de perméabilité. Le facteur le plus important dans l'évaluation de la perméabilité est la **structure** du sol: son type, son degré, et les caractéristiques d'aggrégation comme la relation qui existe entre les dimensions (en longueur et en largeur) des agrégats et la direction et l'importance du chevauchement.

NI la **texture du sol** ni les **taches de couleur** ne sont des critères fiables en soi. Ce sont toutefois des propriétés qui, **jointes aux caractéristiques structurales**, peuvent aider à estimer la perméabilité du sol. Pour évaluer visuellement la perméabilité des horizons pédologiques, procédez comme suit:

- Examinez un profil pédologique frais dans une fosse à ciel ouvert.
- Déterminez les horizons pédologiques existants.
- À l'aide du **tableau 17A**, évaluez, en étudiant attentivement les caractéristiques structurales du sol, la classe de perméabilité à laquelle chaque horizon appartient.
- Vérifiez vos résultats en les confrontant aux autres propriétés du sol figurant au **tableau 17B**.
- La gamme des taux de perméabilité peut alors être obtenue du **tableau 15**.

Indicateurs visuels de la perméabilité: caractéristiques de la structure du sol

Classe de perméabilité (tableau 14)	Structure, type et classe (sections 73 et 74) (1)	Structure, degré et consistance (sections 72 et 60) (2)	Réunion entre les axes horizontal et vertical, chevauchement, cassure et sa direction (3)	Pores et fissures (4)
Perméabilité très faible	Massive	Très forte		Pas de pores visibles
	Angueuse irrégulière; peuvent souvent être brisés à la main à l'aide d'un couteau	Les agrégats sont très durs et ne peuvent être brisés à la main à l'aide d'un couteau. Les blocs sont très fortement développés, avec un axe plus long horizontalement que verticalement. La cassure horizontale se fait généralement à long des faces du bloc; dans certains cas, les petits blocs aux angles irréguliers peuvent être feuilletés horizontalement	Quand prédomine une structure angueuse irrégulière, les fragments irréguliers sont très fortement développés, avec un axe plus long horizontalement que verticalement et des angles aigus. Ils se superposent, avec un chevauchement horizontal d'environ 50 pour cent. Dans des conditions d'humidité adéquate, les blocs irréguliers irréguliers de structure moyenne à grossière se tendent selon une cassure nette, et la structure devient angueuse, irrégulière et fine, l'organisation restant reconnaissable quelle que soit la taille des particules.	Les différents blocs ne présentent pas de pores visibles, mais on peut découvrir des chenaux verticaux, sinueux, qui semblent suivre les côtés du bloc, en général à intervalles de 2 à 5 cm; ces chenaux se prolongent rarement sur plus de 5 à 8 cm sans obliquer horizontalement.
	Sans structure	Il est généralement difficile de casser dans la main, mais des qu'il y a des blocs, les petits morceaux durs se pulvérisent facilement		
Perméabilité faible	Fine à moyenne, angueuse irrégulière	Il faut plus de force pour briser les blocs le long de l'axe vertical que le long de l'axe horizontal. Les cassures tendent à se faire en dents de scie	Les blocs angulaires irréguliers ont des angles aigus; les axes horizontaux sont plus longs que les axes verticaux. Les blocs se superposent généralement avec un chevauchement d'environ 40 pour cent. Les couches horizontales en forme de «chapeau» sont faciles à voir; elles sont disposées généralement à la manière de tuiles, avec un chevauchement de 40 à 50 pour cent au moins. Les fines lignes courbes latérales sont continues.	Très peu de pores visibles. Les fissures verticales apparentes, qui suivent les faces du bloc, se prolongent rarement sur plus de quelques centimètres, sans que des couches appressent.
	Généralment en plaquettes lamellaires, quelques-uns sans structure	Les lamelles cassées horizontalement se fractionnent le long de lignes droites et lisses. Les couches feuilletées semblent composées de petites «dripes» pelles, qui l'on peut enlever facilement avec des pinces		Seuls quelques pores verticaux très fins sont visibles. L'eau à l'écoulement apparent le long de lignes touilleuses suivant le contour des principales lamelles.
Perméabilité modérément	Moyenne à fine, angueuse irrégulière, fragmentée	Les blocs (aggrégats) et les fragments sont moins fermes et moins stables que ceux des classes moins perméables. Ils se cassent plus facilement le long des axes verticaux.	L'angle des blocs et des fragments n'est pas aigu, mais souvent très légèrement arrondi. L'axe horizontal est à peine plus long que l'axe vertical. Le chevauchement des fragments est de 20 à 25 pour cent. Si la cassure est oblique, la taille des fragments peut être plus grande et le chevauchement supérieur à 25 pour cent.	Les pores sont fins mais en nombre moyen. Le chevauchement oblique indique une meilleure circulation d'air et de l'eau. La pénétration des racines est visible.
Perméabilité modérément forte	Fine à moyenne, subangueuse (en forme de «dripes») avec un petit, quelques angles collés	La cohésion des matériaux est moyenne. On peut briser les agrégats facilement à la main, mais ils se fracturent rarement si on ne les separe pas.	Les agrégats ou blocs ne se chevauchent pas légèrement et on note de nombreuses cassures verticales, presque droites. La cassure se produit généralement le long des côtés des agrégats nucléiformes.	Les pores, nombreux, sont de taille moyenne à fine.
Perméabilité modérément forte	Moyenne, subangueuse (nucléiforme), structure grossière granulaire ou grumeleuse	La structure des agrégats n'est pas très développée et la cohésion du matériau est modérément faible	Le chirage vertical se fait presque toujours le long des faces de l'aggrégat et sur à peu près des lignes verticales droites ou obliques, avec seulement de temps en temps un léger chevauchement d'aggrégats structuraux.	Dans l'aggrégat, les pores sont larges et nombreux.
Perméabilité forte	Structure grumeleuse (tendant parfois à prendre la forme de grains ronds)	La consistance varie de légèrement plastique à l'état mou à l'état sec.		Le volume des pores est grand.
Perméabilité très forte	Structure à grains isolés	La consistance varie de non plastique à l'état mou à non cohérent à l'état humide ou sec.		

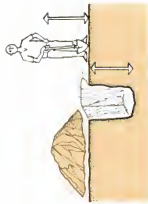
TABLEAU 17B

**Indicateurs visuels de la perméabilité:
texture, comportement physique et couleur du sol**

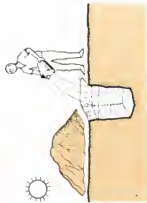
<i>Classe de perméabilité (tableau 14)</i>	<i>Texture et profil pédologique</i>	<i>Comportement physique</i>	<i>Couleur et taches</i>
Perméabilité très faible	Claypans, argile lourde, ou en présence d'un substrat très peu perméable	Le sol se fissure beaucoup en séchant, à l'exception des couches durcies qui ne se fissurent, ni ne se fracturent.	Généralement tacheté
	Hardpan distinct du claypan	Les hardpans associés à cette classe consistent souvent en couches très durcies de sable ou de sable/argile; ils sont généralement sonores quand on les frappe avec une bêche.	Très tacheté
Perméabilité faible	Argile ou argile siliceuse, claypans, couches modérément durcies	Raréfié et fissuration sont moins prononcés que dans la classe des sols très peu perméables.	Les taches sont moyennement importantes.
	Limons (silt), couche dure enrichie en limon (silt)		Des taches moyennement importantes et une couleur grisâtre sont des signes caractéristiques de ce type de structure.
Perméabilité modérément faible	Horizons à texture modérément fine montrant une petite quantité de granulation ou une légère dispersion des particules	Le retrait n'est pas très prononcé et les fissures ne sont ni larges ni nombreuses.	Taches en quantité modérée, mais la couleur est plus vive que celle de la classe peu perméable.
Perméabilité modérée	Textures modérément fines, légèrement plastiques à l'état mouillé et modérément dures à l'état sec		En général, taches en faible quantité
Perméabilité modérément forte	Sols de texture modérément fine à moyenne		Taches occasionnelles. La couleur est généralement d'un jaune modérément vil.
Perméabilité forte	Sols de texture moyenne à modérément grossière		Pas de taches, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée. Couleur généralement très vive. Teneur en matière organique habituellement modérée ou faible.
Perméabilité très forte	Sols graveleux ou de texture grossière		La couleur est vive, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée.

Test de terrain simple pour estimer la perméabilité du sol

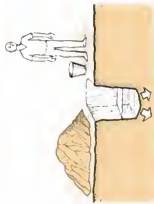
- Creusez un trou jusqu'à votre taille.



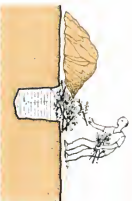
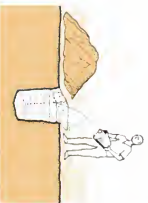
- Tôt le matin, remplissez-le d'eau jusqu'au bord.



- Le soir, une certaine quantité d'eau aura disparu dans le sol.

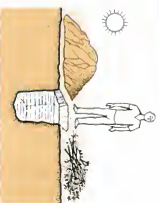


- Remplissez de nouveau le trou jusqu'au bord et couvrez-le de planches ou de branches feuillues.



- Si, le lendemain matin, presque toute l'eau est restée dans le trou, la perméabilité est appropriée, et l'on pourra construire à cet endroit un étang d'élevage.

- Refaites ce test en différents endroits, autant de fois qu'il est nécessaire, selon la qualité du sol.



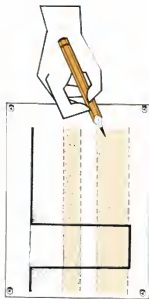
Test de terrain plus précis pour mesurer les taux de perméabilité

- Examinez attentivement les croquis que vous avez faits en étudiant les profils de sol.
- En tenant compte de la texture et de la structure, déterminez les horizons pédologiques qui semblent avoir la **perméabilité la plus faible**.

Note. Vous pourriez aussi utiliser la méthode visuelle pour estimer la perméabilité (voir tableaux 17A et 17B).

- Signalez sur vos croquis les horizons qui semblent avoir la perméabilité la plus faible. Utilisez un crayon de couleur.

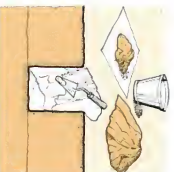
Note. L'eau s'infiltre dans le sol soit horizontalement, soit verticalement, mais seules vous concernent les fuites verticales qui sont surtout celles qui se produisent dans les étangs.



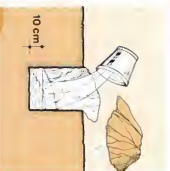
- Creusez un trou d'environ 30 cm de diamètre, jusqu'à ce que vous atteigniez le premier horizon moins perméable.



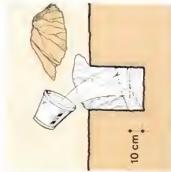
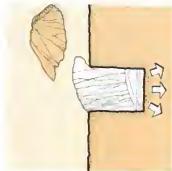
- Enduisez les parois du trou d'argile lourde mouillée, ou doublez-les de plastique, si vous en avez, pour les rendre imperméables.



- Versez de l'eau dans le trou jusqu'à une hauteur de 10 cm.



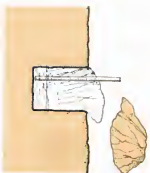
- Tout d'abord, l'eau s'infiltre assez rapidement et vous devrez en rajouter pour compenser les pertes. Quand les pores du sol seront pleins d'eau, l'infiltration ralentira. Ce sera le moment de mesurer la perméabilité de l'horizon situé au fond du trou.



- Assurez-vous qu'il y a encore à peu près 10 cm d'eau dans le tour, sinon rajoutez-en jusqu'à ce niveau.

- Mettez une règle graduée dans l'eau et notez la hauteur d'eau exacte, en millimètres (mm).

- Vérifiez le niveau de l'eau dans le trou toutes les heures, pendant plusieurs heures. Notez le volume des pertes pour chaque heure. Si l'eau disparaît trop rapidement, relevez encore le niveau à 10 cm. Mesurez très soigneusement la hauteur d'eau.
- Quand vous commencez à obtenir des mesures horaires à peu près semblables, la vitesse de perméabilité est constante et vous pouvez cesser de mesurer.
- Si, pour chaque heure successive, l'infiltration présente de grandes différences, continuez à verser de l'eau pour garder une hauteur de 10 cm jusqu'à ce que la vitesse d'infiltration devienne à peu près régulière.



4 th Hour	30 min
2 nd "	100
3 rd "	100
4 th "	100
5 th "	100

Note. Un horizon présentant une perméabilité satisfaisante pour constater le fond d'un étiage doit avoir une épaisseur minimale de 0,7-1 m, à moins qu'il n'existe des horizons plus profonds ayant une perméabilité et une épaisseur appropriées.

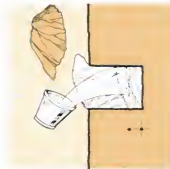
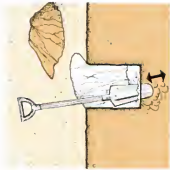
- Comparez maintenant vos résultats avec les valeurs ci-après :

Vitesse de perméabilité (mm/h)	Apertude de l'horizon à constituer le fond d'un étang
Inférieure à 2	Infiltration acceptable: le sol convient.
2-5	Infiltration importante: le sol convient SEULEMENT si les pertes sont dues à la structure du sol et qu'elles disparaîtront quand l'étang sera mis sous eau.
5-20	Infiltration excessive: le sol ne convient pas, sauf si l'on peut réduire les infiltrations de la façon décrite ci-dessous.

Un taux de perméabilité supérieur à 5 mm/h peut être dû à une structure fortement développée. Dans ce cas, il faut essayer de réduire le taux de perméabilité en détruisant la structure de la manière suivante :

- Mettez en boue, le plus profondément possible, le sol au fond du trou.
- Refaites le test de perméabilité décrit ci-dessus jusqu'à ce que vous obteniez des mesures pratiquement constantes de l'infiltration.

— **Si ce nouveau taux de perméabilité ne dépasse pas 4 mm/h**, vous pouvez considérer que l'horizon est apte à constituer le fond d'un étang. Mais tout le fond de l'étang devra être mis en boue avant d'être mis sous eau.



Si ce nouveau taux de perméabilité dépasse 4 mm/h, cela peut être dû à la présence d'un horizon perméable au-dessous de celui que vous avez testé. Il arrive souvent que l'on trouve ce genre de couche perméable entre des couches de sol semi-perméables ou même imperméables.

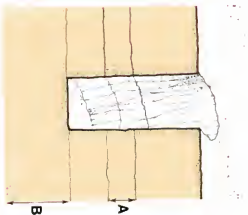
● Vérifiez cette hypothèse à l'aide du test suivant...

Creusez un nouveau trou de 30 cm de diamètre, à travers la première couche moins perméable (A) jusqu'au sommet de la couche moins perméable suivante (B).

Réitérez l'essai de perméabilité jusqu'à ce que vos mesures indiquent une infiltration presque constante.

Si, cette fois, le taux de perméabilité ne dépasse pas 3 mm/h, cet horizon peut constituer le fond de votre étang. Mais n'oubliez pas que cette faible perméabilité doit caractériser une couche d'au moins 0,7-1 m d'épaisseur pour que les infiltrations d'eau à travers le fond de l'étang restent limitées.

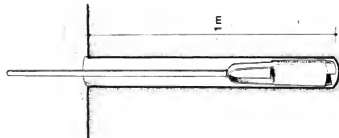
Note. En construisant votre étang, vous n'avez pas nécessairement besoin d'enlever une couche perméable peu profonde, si elle recouvre une autre couche non perméable et capable de retenir l'eau. Il vous faut, cependant, descendre jusqu'à la couche imperméable plus profonde pour construire les digues de l'étang, afin d'obtenir un bassin bien fermé et d'éviter les infiltrations horizontales (voir section 90, page 111).



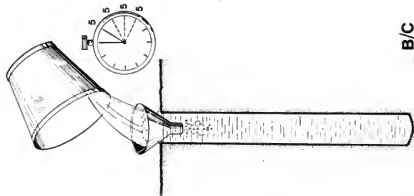
96 Comment calculer les coefficients de perméabilité

Pour obtenir une mesure plus précise de la perméabilité du sol, vous pouvez effectuer, sur le terrain, l'essai suivant qui vous donnera une valeur du coefficient de perméabilité:

- Au moyen d'une tarière à godet, percez un trou d'environ 1 m de profondeur (A) dans le sol de l'emplacement que vous aurez choisi pour déterminer le coefficient de perméabilité.
- Remplissez le trou d'eau jusqu'au bord (B/C).
- Pendant au moins 20 mn (B/C), remplissez le trou jusqu'au bord toutes les 5 mn, pour être sûr que le sol est complètement saturé.

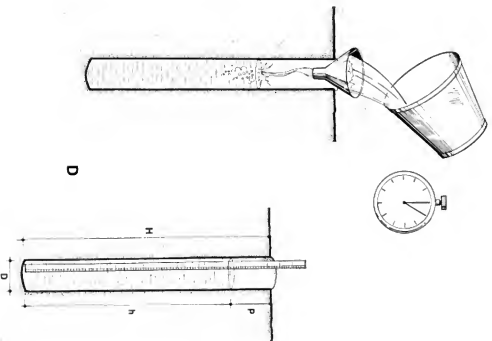


A



B/C

- Remplissez le trou à ras bord une dernière fois et commencez à mesurer la vitesse à laquelle la surface de l'eau descend, en utilisant une montre pour mesurer le temps et une règle graduée en centimètres pour mesurer la distance P entre la surface de l'eau et le sommet du trou (D). Cessez de mesurer quand la vitesse devient à peu près constante.



Exemple

La vitesse devient constante

Temps (mn)	0	1	2	3	5	7	10	15	...
Distance, P (cm)	0	1	2	3,5	6,5	8,5	12	17,5	...
Vitesse de descente (cm/mn)		1	1	1,5	1,5	1	1,2	1,1	...

- Mesurez la profondeur totale exacte du trou (H) et son diamètre (D). Exprimez toutes les mesures en mètres (m):

$$H = 1,15 \text{ m et } D = 12 \text{ cm ou } 0,12 \text{ m}$$

- Pour chacune de ces deux mesures consécutives temps/distance, calculez le coefficient de perméabilité K au moyen de la formule suivante:

$$K = \frac{(D + 2) \times \ln(h_1 + h_2)}{2(t_2 - t_1)}$$

où (D + 2) représente le rayon du trou, ou son demi-diamètre, en mètres;

ln représente le logarithme naturel;

h_1 et h_2 sont les deux profondeurs d'eau consécutives, en mètres, à savoir h_1 la profondeur au début de la mesure et h_2 la profondeur à la fin de la période considérée;

$(t_1 - t_2)$ exprime, en secondes, la durée écoulée entre deux mesures consécutives.

Note. On peut calculer rapidement les valeurs de h en faisant la différence entre la profondeur totale du trou (H) et les valeurs successives de P. Faites bien attention d'exprimer toutes les mesures en mètres et en secondes pour obtenir K en m/s.

- Enfin, comparez vos valeurs K (en m/s) avec les valeurs du tableau 16.

Exemple

Si $(D + 2) = 0,12 \text{ m} + 2 = 0,06 \text{ m}$ et $H = 1,15 \text{ m}$, on calcule, l'une après l'autre, les différentes valeurs de K selon la formule (voir tableau 18).

Note. Pour obtenir le logarithme naturel de $(h_1 + h_2)$, vous utiliserez soit une table de logarithme, soit une calculatrice de poche. Rappelez-vous que $10^{-6} = 0,000001$ et que $6,8 \times 10^{-6} = 0,0000068$.

Note. Rappelez-vous également que l'exposant négatif de 10 indique la place du chiffre décimal qu'il faut donner au multiplicateur:

$$\begin{aligned} K &= 2 \times 10^{-3} = 0,002 \quad \text{m/s} \\ K &= 5 \times 10^{-7} = 0,0000005 \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

Si vous voulez comparer une valeur K (m/s) avec les taux de perméabilité (cm/jour), multipliez K par 8 640 000 ou 864×10^4

$$K = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s} = 86,4 \text{ cm/jour}$$

TABLEAU 18

Etaples successives pour calculer les coefficients de perméabilité
à partir de mesures de terrain
(pour un forage à la tarière où $H = 1,15$ m et $D = 0,12$ m)

Temps, minutes	0	1	2	3	5	7	10	15
Distance P, mètres	0	1	2	3,5	6,5	8,5	12	17,5
OPÉRATION 1 Valeurs successives de h_1 , m (1,5 m - P m)	1,15	1,14	1,13	1,115	1,085	1,065	1,030	0,975
OPÉRATION 2 Valeurs successives de h_2 (avancez d'une colonne chaque valeur h_1)	1,14	1,13	1,115	1,085	1,065	1,030	0,975	...
OPÉRATION 3 Rapport $(h_1 + h_2)$	1,00877	1,00855	1,01345	1,02765	1,01878	1,03398	1,05641	...
OPÉRATION 4 $\ln (h_1 + h_2)$	0,00873	0,00881	0,01336	0,02727	0,01861	0,03342	0,05488	...
OPÉRATION 5 $A = 0,06 \text{ m} \times \ln$ $(h_1 + h_2)$	0,00053	0,00053	0,00080	0,00164	0,00112	0,00201	0,00329	...
OPÉRATION 6 t_1 , secondes	0	60	120	180	300	420	600	900
OPÉRATION 7 t_2 , secondes (avancez d'une colonne chaque valeur t_1)	60	120	180	300	420	600	900	...
OPÉRATION 8 $(t_2 - t_1)$, secondes	60	60	60	120	120	180	300	...
OPÉRATION 9 $B = 2 (t_2^2 - t_1^2)$, secondes	120	120	120	240	240	360	600	...
OPÉRATION 10 K , m/s = $A + B$ (opération 5 + opération 9)	$4,4 \times 10^{-6}$	$4,4 \times 10^{-6}$	$6,6 \times 10^{-6}$	$6,8 \times 10^{-6}$	$4,6 \times 10^{-6}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$5,4 \times 10^{-6}$	...

NOTE. La formule pour calculer les coefficients de perméabilité est $K = [(D + 2) \times \ln (h_1 + h_2)] + 2 (t_2 - t_1)$ ou $A + B$ (voir section 96).

10 DIVERSES PROPRIÉTÉS DU SOL

100 Autres propriétés importantes du sol

Dans les sections ci-après, on passera brièvement en revue un certain nombre d'autres propriétés du sol dont il faut tenir compte quand on prépare un projet de construction de digues, de barrages et de canaux en terre. Les six dernières colonnes du **tableau 26** citent quelques exemples de propriétés à considérer lors de la construction de digues et barrages avec des groupes de sols déterminés.

101 Perméabilité d'un sol compacté

Le degré de perméabilité d'un sol compacté dépend de la vitesse du mouvement de l'eau dans le sol, après que celui-ci a été compacté. Si un sol à gros grains contient, après compactage, de larges pores continus, il transmet l'eau rapidement; on dit qu'il a une forte perméabilité. Les sols à grains fins contiennent très peu de pores continus et un sol de gravier fin compacté transmettra l'eau très lentement et aura une faible perméabilité.

102 Caractéristiques de compactage

Les caractéristiques d'un sol en matière de compactage (compacité) indiquent la façon dont ce sol réagit à un effort de compactage (consolidation). Les sols ayant de bonnes caractéristiques de compactage peuvent être fortement compactés avec un minimum d'efforts. Les matériaux ayant un **indice de plasticité** proche de 16 pour cent sont ceux qui ont les meilleures caractéristiques de compactage.

Il y a, pour chaque sol, une **teneur en eau optimale** qui permet de le compacter au maximum avec un minimum d'efforts et de le rendre le moins perméable possible. Ces teneurs en eau optimales de divers types de sols sont les suivantes:

Sol	Teneur en eau optimale pour le compactage (valeurs extrêmes en pourcentage)
Sables argilleux, mélange sable-argile	11 - 10
Mélange sable-limon-argile, avec fraction plastique de limon + argile	15 - 11
Limon (silt) inorganique, limon siliceux	24 - 12
Argile inorganique	24 - 12
Limon (silt) organique	33 - 21
Argile inorganique très plastique	36 - 19
Argile organique	45 - 21

Note. La teneur optimale est en général inférieure de 2 à 3 pour cent à la **limite de plasticité** du sol.

103 Compressibilité

La compressibilité est la mesure dans laquelle une masse de sol diminue de volume quand elle supporte une charge. La compressibilité est la plus faible dans les **soils à gros grains**, où les particules se touchent. Elle croît à mesure que la quantité de petites particules augmente, et elle devient la plus forte dans les **soils à grains fins** qui contiennent de la matière organique. Voici quelques exemples de la compressibilité de divers soils :

- Les graviers et les sables sont pratiquement incompressibles. Si on comprime une masse humide de ces matériaux, on n'observe aucun changement notable de leur volume.
- Les argiles sont compressibles. Si on comprime une masse humide d'argile, l'eau et l'air sont expulsés et il s'ensuit une réduction du volume. Quand on supprime la charge, la masse d'argile ne revient pas immédiatement à son volume initial.

Les soils à grains fins qui contiennent au moins 50 pour cent de limon + argile peuvent, selon leur **limite de liquidité**, entrer dans trois classes de compressibilité (voir tableau 12), qui sont :

- Faible compressibilité: LL inférieure à 30.
- Moyenne compressibilité: LL comprise entre 30 et 50.
- Forte compressibilité: LL supérieure à 50.

En général, la compressibilité est à peu près proportionnelle à l'**indice de plasticité** (voir section 85). Plus l'IP est grand, plus la compressibilité du sol est forte.

104 Gonflement et retrait

Le potentiel de gonflement et retrait du sol est la propriété qu'a un sol de changer de volume en fonction de sa **teneur en eau**. Certains soils se contractent en séchant et gonflent en s'imprégnant d'eau.

Le changement de volume de la masse du sol dépend autant de la **variation de la teneur en eau** que de la **quantité et du type d'argile** contenue dans le sol :

- Faible gonflement et retrait: sable limoneux, sable et argile du type kaolin.
- Fort gonflement et retrait: argile du type kaolin montmorillonite.

105 Résistance au cisaillement

La résistance d'un sol au cisaillement se résume à la résistance relative que ce sol oppose au glissement quand il supporte une charge. Les sols qui opposent la plus grande résistance au glissement sont ceux qui se composent de gravier propre contenant moins de 5 pour cent de limon + argile. La résistance des sols au cisaillement décroît à mesure que la proportion de particules fines augmente. Elle est la plus faible dans les sols organiques à grains fins. C'est pourquoi, par exemple, il importe d'enlever d'abord tout le sol organique quand on construit un barrage pour réduire les risques de glissement.

106 Tendance à l'érosion interne

La tendance du sol à l'érosion interne dépend de sa résistance quand l'eau se déplace à travers les pores et les fissures du sol. Les matériaux particulièrement sujets à ce phénomène sont ceux qui ont de larges pores ou l'eau peut circuler très rapidement, mais dont les particules sont assez fines et suffisamment divisées pour se détacher facilement. Les matériaux les plus sensibles à cette érosion sont les sables fins et les limons non plastiques ayant un indice de plasticité inférieur à 5. Les sables grossiers et les graviers peuvent aussi transmettre l'eau rapidement, mais ils résistent mieux aux mouvements internes car ils sont constitués de grosses particules. D'autres sols sont peu exposés à ce phénomène, par exemple les sols plastiques cohérents à grains fins qui transmettent l'eau très lentement et résistent bien à l'érosion interne.

**11 CLASSIFICATION DE L'APTITUDE
DES SOLS A L'AQUACULTURE**

110 Le problème de la classification des sols

Il existe plusieurs systèmes de classification des sols qui se fondent généralement sur la taille des particules ou sur quelques autres propriétés comme la plasticité et la compressibilité. La classification des sols à partir des caractéristiques granulométriques est couramment utilisée, particulièrement dans le cas de descriptions préliminaires ou générales (voir section 64). Mais tout système qui ne se fonde que sur la taille des particules peut être une cause d'erreur car les propriétés physiques des fractions les plus fines du sol ne dépendent pas seulement de la taille des particules, mais aussi de nombreux autres facteurs. Cette constatation a conduit à l'élaboration d'un Système unifié de classification des sols (Unified Soil Classification - USC) qui est actuellement considéré pour le génie civil comme le système de classification le plus utile. Le Système unifié de classification des sols permet une classification fiable, ne nécessitant qu'un petit nombre de tests de laboratoire peu coûteux.

111 Le Système unifié de classification des sols

Le Système unifié de classification des sols identifie les sols selon leur texture et leur plasticité. Les sols sont groupés d'après:

- Les pourcentages de classes granulométriques particulières (voir ci-après).
- La forme de la courbe granulométrique (voir section 67).
- Les caractéristiques de plasticité et de compressibilité (voir sections 102 et 103).

En génie civil, on reconnaît quatre calibres de particules:

- **Les cailloux:** particules de diamètre supérieur à 75 mm.
- **Le gravier:** particules dont la taille est comprise entre 4,75 et 75 mm.
- **Le sable:** particules dont la taille est comprise entre 0,075 et 4,75 mm.
- **Les fins:** particules d'un calibre inférieur à 0,075 mm (limon et argile).

Les tailles de particules utilisées dans le système USC diffèrent quelque peu de celles des autres systèmes de classification mentionnés précédemment au **tableau 2** du présent ouvrage. Les tailles USC des particules correspondent aux tamis américains normalisés, soit : trois pouces (76,2 mm), N° 4 (4,76 mm) et N° 200 (0,075 mm) respectivement, comme indiqué ci-après :

Définition des particules
d'après leur taille

Système unifié de classification des sols (USC)	
Cailloux	3 in. (76,2)
Gravier grossier	3/4 in. (19,0)
Gravier fin	N° 4 (4,76)
Sable grossier	N° 10 (2,0)
Sable moyen	N° 40 (0,425)
Sable fin	N° 200 (0,075)
Fins ¹	

Tamis normalisés des États-Unis
(diamètre minimal des particules arrêtées sur le tamis en millimètres)

Le Système unifié de classification des sols tient compte de trois principaux types de sols :

- **Les sols à gros grains** (SGG), qui contiennent 50 pour cent ou moins de fins.
- **Les sols à grains fins** (SGF), qui contiennent plus de 50 pour cent de fins.
- **Les sols fortement organiques**, tels les sols tourbeux, les sols fangeux, les sols à humus ou les sols marécageux.

Les sols à gros grains et à grains fins se subdivisent soit en fonction de leur granulométrie (pour les sols à gros grains), soit en fonction de leur plasticité (pour les sols à grains fins). On détermine la plasticité des sols à grains fins au moyen de la limite de liquidité et de l'indice de plasticité (voir section 85). Les données correspondant à chaque échantillon sont introduites dans le **diagramme de plasticité modifié** (voir tableau 19). Les sols sont ensuite classés dans des **groupes**, d'après la zone du diagramme où se situe leur point représentatif (LL, LP) (voir tableaux 20A et 20B).

On attribue à chaque groupe de sol un nom le décrivant et un symbole lettré indiquant ses principales caractéristiques (voir tableau 21). Ce symbole est représenté par deux lettres majuscules. La première lettre désigne le constituant principal du sol et la seconde lettre définit soit la plasticité-compressibilité du sol (tableau 14), soit sa granulométrie, comme suit :

- C pour l'argile, M pour le limon, S pour le sable, G pour le gravier et O pour un sol organique.
- L pour une faible ou H pour une forte plasticité-compressibilité.
- W pour des matériaux bien calibrés, P pour des matériaux mal calibrés. Dans un matériau bien calibré, aucune classe granulométrique ne prédomine. Dans un matériau mal calibré, une classe granulométrique l'emporte sur les autres.
- Certains matériaux se situent à la limite de deux groupes. On leur donne alors un double symbole, par exemple CL-ML ou GW-GM.

Note. Les **tableaux 12 et 13** donnent des exemples de descriptions des sols utilisant ces symboles.

¹ Limon (fines) et argile

112 Classification des sols à grains fins sur le terrain

Sur le terrain, on peut classer les sols à grains fins d'après les groupes du Système unifié de classification au moyen de tests simples (voir tableau 22). Ces tests sont les suivants:

- **Plasticité:** utilisez le test qui détermine la plasticité du sol mouillé (voir section 81, page 98).
- **Consistance à l'état sec:** utilisez le test qui détermine la consistance du sol à l'état sec (voir section 83).
- **Test des secousses:** utilisez ce test (voir fin de la section 64).
- **Limite de plasticité:** utilisez la méthode du fil (voir fin de la section 84).
- **Odeur:** prenez une poignée de sol et sentez-la...

113 Classification des sols à gros grains sur le terrain

Sur le terrain, on peut classer les sols à gros grains d'après les groupes du Système unifié de classification décrits au **tableau 23**, en se souvenant que:

- **Les fins** sont toutes les particules de sol qu'on ne peut pas voir à l'œil nu.
- **Pour la plasticité.** Il convient d'utiliser le test qui s'applique à la plasticité du sol mouillé (voir section 81, page 98).

114 Correspondance entre les classes texturales USDA et le Système unifié de classification

Si le laboratoire s'est servi des classes texturales USDA (voir tableau 4) pour analyser et classer vos échantillons de sol, vous pouvez les utiliser de la manière indiquée au **tableau 24** pour définir le groupe du Système unifié auquel vos échantillons appartiennent.

TABLEAU 20A

Système unifié de classification des sols
(définition des principaux groupes de sols à gros grains)

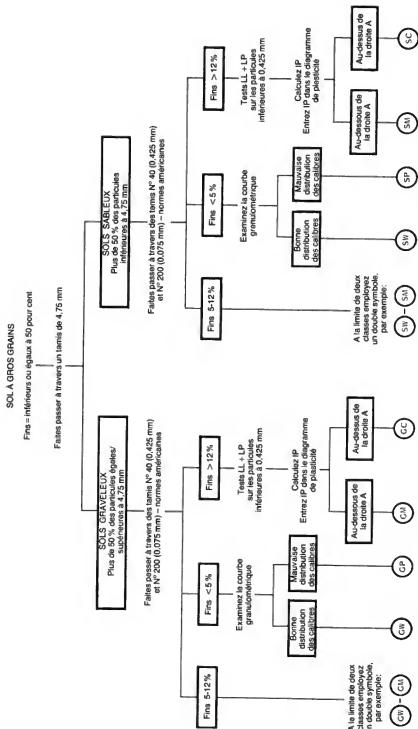


TABLEAU 208

**Système unifié de classification des sols
(définition des principaux groupes de sols à grains fins)**

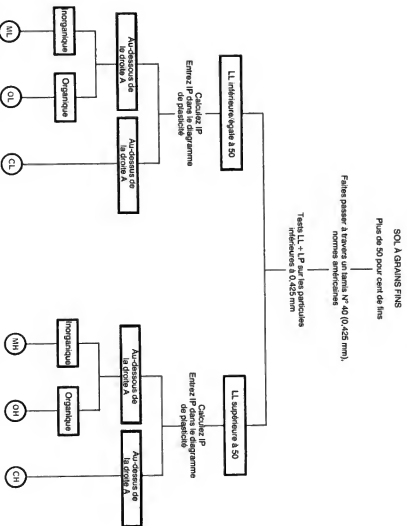


TABLEAU 21
Appellations caractéristiques et symboles des groupes de sols
du Système unifié de classification des sols

Symbole des groupes de sols USC	Appellations caractéristiques des sols
Sols à gros grains	
GW	Gravier bien calibré, mélanges de gravier et de sable, peu ou pas de fins
GP	Gravier mal calibré, mélanges de gravier et de sable, peu ou pas de fins
GM	Gravier silteux, mélanges de gravier, de sable et de limon (silt)
GC	Gravier argileux, mélanges de gravier, de sable et de limon (silt)
SW	Sable bien calibré, sables graveleux, peu ou pas de fins
SP	Sables mal calibrés, sables graveleux, peu ou pas de fins
SM	Sables silteux, mélanges de sable et de limon (silt)
SC	Sables argileux, mélanges de sable et d'argile
Sols à grains fins	
ML	Limons (sils) inorganiques et sables très fins, farine de roche, sables fins silteux ou argileux fins, ou limons (sils) argileux légèrement plastiques
CL	Argiles inorganiques de faible à moyenne plasticité, argiles graveleuses, argiles sableuses, argiles silteuses, argiles maigres
OL	Limons (sils) organiques et argiles silteuses organiques, peu plastiques
MH	Limons (sils) inorganiques, sols silteux ou sables fins à micas ou à diatomées, limons (sils) élastiques
CH	Argiles inorganiques fortement plastiques, argiles grasses
OH	Argiles organiques de moyenne à forte plasticité, limons (sils) organiques
Sols fortement organiques	
Pt	Tourbe et autres sols fortement organiques

TABLEAU 22
Exemple de classification de terrain
pour les sols à grains fins du système USC

Groupes de sols USC	Plasticité (sol mouillé)	Consistance à l'état sec	Réaction au test des secousses	Limite de plasticité, résistance du fil	Odeur
ML	0	0 - 1	Rapide à lente	Nulle	Sans caractéristique, souvent nulle
CL	2	2 - 4	Nulle à très lente	Moyenne	Légère odeur de terre
OL	1	1 - 3	Lente	Faible	Matériau organique décomposée
MH	1	1 - 3	Lente à nulle	Faible à moyenne	Sans caractéristique, souvent nulle
CH	3	3 - 5	Nulle	Fort	Fort odeur de terre
OH	2 - 3	2 - 4	Nulle à très lente	Faible à moyenne	Matériau organique décomposée

TABLEAU 23
Exemple de classification de terrain
pour les sols à gros grains du système USC

Groupe de sols USC	Echantillon complet, sauf cailloux de plus de 12 cm de diamètre	Une partie de l'échantillon: seulement les particules de diamètre inférieur à 3 mm
GW	Assez peu de fins	Matériau propre; il n'y a pas assez d'argile pour lier les grains de sable
GP	Prédominance d'une ou plusieurs dimensions de gros grains	Matériau propre; il n'y a pas assez d'argile pour lier les grains de sable
GM	Matériau sale; bon éventail de dimensions seulement pour les gros grains; fins nombreux	Plasticité nulle ou très faible; beaucoup de fins
GC	Matériau sale; bon éventail de dimensions seulement pour les gros grains; fins nombreux	Plasticité modérée à forte; beaucoup de fins
SW	Tous les calibres de gros grains sont bien représentés; assez peu de fins	Matériau propre; il n'y a pas assez d'argile pour agglomérer les particules de sable; plasticité nulle
SP	Prédominance d'un ou de plusieurs calibres de gros grains	Matériau propre; il n'y a pas assez d'argile pour agglomérer les particules de sable; plasticité nulle
SM	Matériau sale; bon éventail de dimensions seulement pour les gros grains; fins nombreux	Plasticité nulle ou très faible; beaucoup de fins
SC	Matériau sale; bon éventail de dimensions seulement pour les gros grains; fins nombreux	Plasticité modérée à forte; beaucoup de fins

TABLEAU 24

**Propriétés des sols pour le génie civil correspondant
aux classes texturales USDA et au système USC¹**

<i>Classe texturale USDA</i>	<i>Groupe de sols USC</i>	<i>Propriétés du sol²</i>
Sable fin (0,25-0,1 mm)	SP SP-SM SM	Moins de 10 pour cent de fins De 5 à 10 pour cent de fins Plus de 10 pour cent de fins
Sable très fin (0,1-0,05 mm)	SM ML	Faible plasticité Peu ou pas de plasticité
Sable grossier (1-0,5 mm)	SP ou GW SP-SM SM	Moins de 5 pour cent de fins De 5 à 12 pour cent de fins Plus de 12 pour cent de fins
Sable limoneux	SM	Plasticité nulle à faible
Limons sableux	SM SC	Légèrement plastique
Limons Limons siliceux	ML CL	Légèrement plastique
Limons (silt)	ML	Légèrement plastique
Limons argileux Limons silico-argileux	CL ML-CL CH MH	Limite de liquidité inférieure à 50; plastique Limite de liquidité inférieure à 50; légèrement plastique Limite de liquidité supérieure à 50; argiles à fort gonflement-retrait Limite de liquidité supérieure à 50; argiles de type kaolin, mica, oxyde de fer
Limons sablo-argileux	SC CL	Plastique; moins de 50 pour cent de fins Plastique; moins de 50 pour cent de fins
Argile Argile siliceuse	CH MH CL	LL > 50; argiles à fort gonflement-retrait (ex.: argiles du type montmorillonite) LL > 50; mica, oxyde de fer, argiles à faible gonflement-retrait (ex.: argiles du type kaolin) Limite de liquidité inférieure à 50; généralement moins de 45 pour cent d'argile

¹ Classes texturales USDA telles que définies au tableau 4.

² Fins: particules de limon (silt) + argile intérieures à 0,075 mm; degré de plasticité comme au chapitre 8.

12 LES SOLS ET LA PISCICULTURE EN EAU DOUCE

120 Qu'avez-vous appris?

Dans les chapitres précédents, vous avez appris:

- Comment les sols évoluent au fil du temps.
- Quelles sont les caractéristiques principales d'un sol.
- Comment évaluer ces caractéristiques et tirer profit de ces renseignements.

Maintenant, vous devriez être mieux à même de:

- Choisir judicieusement un site qui se prête à la construction soit de petits réservoirs, soit d'étangs piscicoles d'eau douce.
- Gérer vos étangs.

Le choix d'un site et la gestion des étangs seront traités en détail dans les prochains volumes de *Méthodes simples pour l'aquaculture*. Nous allons cependant en évoquer quelques aspects ici, afin de vous donner une idée de la façon dont vous pouvez directement mettre en pratique les résultats de votre prospection pédologique pour aborder ces deux sujets.

121 Aptitude du sol à la construction d'étangs de terre

Si vous prévoyez de construire des étangs piscicoles de terre, la qualité du sol sera un élément important, tant pour le choix des meilleurs matériaux à employer pour construire les digues que pour la conception de la ferme piscicole. Les canaux d'alimentation en eau et les fonds des étangs devront être suffisamment imperméables pour réduire au minimum les pertes d'eau par infiltration. Pour obtenir une bonne production de poisson, il faudra entretenir la fertilité de l'eau des étangs en empêchant la perte des éléments nutritifs due à la forte perméabilité du fond de l'étang.

Note. Les sols propres à constituer le fond d'un étang doivent avoir, de préférence, un coefficient de perméabilité inférieur à $K = 5 \times 10^{-9}$ m/s.

Dans quelles conditions un site est-il impropre à la construction d'étangs de terre?

On peut considérer comme impropre à la construction d'étangs de terre un site qui présente:

- Des atterissements rocheux ou de grosses pierres en surface.
- Des couches de gravier ou des sols rocheux.
- Des grès*.
- Des sols organiques, par exemple les sols tourbeux, qu'il faut éviter si possible car ils ont une forte perméabilité et ne constituent pas un bon matériau de construction pour les digues. Pour construire des étangs sur ce type de sol, il faut employer des techniques spéciales de construction.

Dans quelles conditions un site est-il propre à la construction d'étangs de terre?

On peut considérer comme propre à la construction d'étangs de terre un site dont le sol peut assurer:

- Une bonne rétention de l'eau, comme les sols argileux ou sable-argileux.
- Une bonne fertilité, comme les limons argileux ou les limons silto-argileux.

Pour convenir à un étang de terre, la texture du sol doit être à grains fins et avoir un pourcentage de particules de limon et d'argile représentant plus de 50 pour cent du poids sec total. **Les meilleurs sols pour la pisciculture** sont les argiles sableuses, les limons silto-argileux et les limons argileux, qui appartiennent au groupe CL du Système unité de classification.



122 Aptitude du sol à la construction de levées de terre

Votre prospection pédologique vous aidera à décider de l'aptitude d'un site particulier. Si vous prévoyez d'avoir un petit réservoir pour répondre à vos besoins en eau, il vous faudra choisir l'emplacement sur lequel vous construirez le barrage. Parmi les principaux facteurs à considérer, vous tiendrez compte de la qualité du sol, non seulement en tant que matériau de construction pour le barrage de terre même, mais aussi pour éviter les risques d'accidents ultérieurs. Par exemple, si le barrage n'est pas bien ancré à une couche de sol profonde imperméable, il peut arriver que l'eau se mette à percoler le long de cette couche, la rendant suffisamment glissante pour entraîner le barrage.



Barrage ou digues d'étangs

L'aptitude d'un sol à constituer un bon matériau pour la construction d'un barrage ou de digues d'étangs diminue à mesure que le pourcentage des particules d'argile décroît. C'est ce que l'on peut voir au **tableau 25**, où l'on compare des sols de texture différente du point de vue de leurs caractéristiques de perméabilité, de compressibilité et de compactage.

Vous trouverez, au titre indicatif, au **tableau 26**, un résumé des caractéristiques de divers matériaux utilisables pour la construction de levées de terre compactées pour les groupes de sols du Système unifié de classification. Les sols présentant les meilleures caractéristiques de compactage sont ceux qui ont une limite de liquidité égale à 35 pour cent et un indice de plasticité égal à 16 pour cent. La teneur du sol en eau devrait aussi s'approcher le plus possible de la valeur optimale (voir section 102).

Digue sans noyau argileux

Pour construire des digues sans noyau argileux, recherchez le matériau possédant les propriétés suivantes:

- Particules de diamètre inférieur à 0,1 mm: 20 à 70 pour cent.
- Particules de diamètre inférieur à 0,05 mm: 10 à 40 pour cent.
- Indice de plasticité: 8 à 20 pour cent.
- Coefficient de perméabilité: entre 1×10^{-4} et 5×10^{-6} m/s.

Digue avec noyau argileux

Pour construire des digues avec noyau argileux, vous devez utiliser, pour le noyau, un bon matériau imperméable possédant les caractéristiques de plasticité suivantes:

- Limite de liquidité inférieure à 60 pour cent.
- Limite de plasticité inférieure à 20 pour cent.
- Indice de plasticité supérieur à 30 pour cent.

Note: La position relative de la courbe **granulométrique** de votre échantillon peut aussi vous aider à juger de l'aptitude de votre sol (voir ci-après section 124).

TABLEAU 25

**Aptitude relative de différents types de sols
à la construction de digues**

Texture	Perméabilité	Compressibilité	Caractéristiques de compactage	Aptitude à la construction de digues
Argile	Imperméable	Moyenne	Assez bonnes à bonnes	Excellente
Argile sableuse	Imperméable	Faible	Bonnes	Bonne
Limon	Semi-imperméable à imperméable	Forte	Assez bonnes à très mauvaises	Assez bonne
Limon sableux	Semi-imperméable à imperméable	Moyenne à forte	Bonnes à très mauvaises	Mauvaise
Sable	Perméable	Négligeable	Bonnes	Mauvaise
Tourbe				Très mauvaise

TABLEAU 26

Caractéristiques de divers soles en tant que matériaux pour la construction de digues et de barrages¹

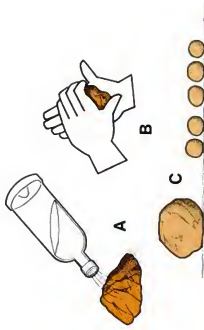
Groupe de sol USC	Adapté pour la construction de digues/barrages	Coefficient de perméabilité m/s	Possibilité de compacter et/ou d'acquiescer ²	Comportement à l'état saturé	Qualité en tant que matériau de construction	Résistance au cisaillement ou compactage relatif	Perméabilité au sol compacté	Tendance à l'expansion interne (compaction)	Potentialité de renforcement par un matériau
GW	Tres stable; massifs perméables de digues/barrages	$K > 10^{-4}$	Bonne; tracteur à chenilles, rouleau pneumatique ou en acier	Faible	Excellente	Forte	Faible	Faible	Presque nul
GP	Rationnellement stable; massifs perméables de digues/barrages	$K > 10^{-4}$	Bonne; tracteur à chenilles, rouleau pneumatique ou en acier	Faible	Bonne	Forte	Faible	Faible	Tres stable
GM	Rationnellement stable, ne convient pas spécialement à la construction de massifs, mais peut constituer des royaux ou des couvertures imperméables	$K > 10^{-5}$ à 10^{-6}	Assez bonne à bonne; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton, avec corde très élastique de la largeur en eau	Faible	Bonne moyenne	Faible à moyenne	Moyenne à faible	Moyenne à faible	Tres stable
GC	Assez stable; peut servir à la construction de royaux imperméables	$K > 10^{-5}$ à 10^{-6}	Bonne à assez bonne; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton	Faible à moyenne	Bonne	Moyenne	Faible	Moyenne à faible	Faible
SW	Tres stable; parties perméables; protection des parties nécessaires	$K > 10^{-5}$	Bonne; tracteur à chenilles ou rouleau pneumatique	Faible	Excellente	Forte	Forte	Moyenne	Presque nul
SP	Rationnellement stable; utilisable	$K > 10^{-5}$	Bonne; tracteur à chenilles	Faible	Assez bonne	Moyenne	Forte	Moyenne à faible	Presque nul
SM	Assez stable; ne convient pas spécialement à la construction de massifs, mais peut servir à constituer des royaux imperméables ou des digues	$K > 10^{-5}$ à 10^{-6}	Assez bonne à bonne; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton, avec corde très élastique de la largeur en eau	Faible à moyenne	Assez bonne	Moyenne	Moyenne à faible	Moyenne à faible	Tres stable
SC	Assez stable; utilisable pour la construction des digues	$K > 10^{-6}$	Bonne à assez bonne; rouleau à pieds de mouton ou pneumatique	Faible à moyenne	Bonne	Moyenne à faible	Faible	Moyenne à faible	Faible à moyen
ML	Stabilité médiocre; peut être utilisé pour les levées de terre avec un cordage adéquat	$K > 10^{-6}$	Assez bonne à médiocre; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton en eau	Moyenne	Assez bonne	Moyenne à faible	Faible	Faible à moyen	Faible à moyen
MH	Stabilité mauvaise; royaux de construction; à éviter dans les barrages en terre compactés	$K > 10^{-6}$ à 10^{-7}	Médiocre à très médiocre; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton	Forte	Médiocre	Faible	Faible à moyenne	Moyenne à faible	Fort
C	Stable; royaux et couvertures imperméables	$K > 10^{-6}$	Assez bonne à bonne; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton	Moyenne	Bonne à assez bonne	Moyenne à faible	Faible	Faible à moyen	Moyen à fort
CH	Stabilité assez bonne sur certains types de royaux; couvertures et sections de digues	$K > 10^{-6}$ à 10^{-7}	Assez bonne à médiocre; rouleau pneumatique ou à pieds de mouton	Forte	Médiocre	Moyenne à faible	Faible	Faible	Fort
CL	Concert pour la construction de basses levées de terre ne comportant que très peu de royaux	$K > 10^{-6}$	Assez bonne à médiocre; rouleau à pieds de mouton	Forte	Assez bonne	Faible	Faible à moyenne	Faible à moyen	Fort
OH	Concert pour la construction de basses levées de terre ne comportant que très peu de royaux	$K > 10^{-6}$ à 10^{-7}	Médiocre à très mauvaise; rouleau à pieds de mouton	Faible	Médiocre	Faible	Faible	Moyenne à faible	Fort à très fort

¹ Ces informations sont basées sur les uniquement indiqués² Cet équipement procure un bon compactage, sans engager un nombre de passages excessif à condition que l'on respecte convenablement l'axe hydraulique du sol et l'épaisseur des couches.

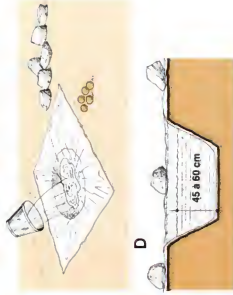
Test simple pour évaluer l'aptitude d'un sol à la construction de levées de terre

Au moment de choisir un matériau pour construire une levée de terre, il est très important de connaître la **capacité de résistance de ce sol lorsqu'il est saturé d'eau**. Voici un test très simple que vous pouvez faire pour déterminer cette qualité du sol :

- Prélevez un échantillon de sol et mouillez-le bien (A).
- Malaxez-le à la main jusqu'à ce qu'il devienne une masse plastique rigide (B).
- Faites-en plusieurs boules de 10 cm de diamètre (C).



- Plongez les boules dans une **eau calme**, à environ 45-60 cm de profondeur (D). Vous pouvez utiliser un trou creusé dans la terre et revêtu d'une feuille de plastique ou un grand récipient, par exemple un fût métallique de 200 litres.



- Observez les boules d'abord toutes les quelques heures, puis plusieurs fois par jour...

— Si les boules se défont au bout de quelques heures (E), le sol ne convient pas à la construction de levées de terre.



— Si les boules ne se défont pas et restent intactes pendant au moins 24 heures (F), le sol convient à la construction de levées de terre.



123 Aptitude du sol à la construction de canaux

La stabilité relative de divers groupes de sols USC pour la construction de canaux d'alimentation en eau et de canaux d'évacuation dans des fermes piscicoles est variable, comme le montre le **tableau 27**, qui donne des estimations de la résistance des sols à l'érosion par l'eau et de leur aptitude à constituer des revêtements en terre compactée. Pour creuser des canaux, il vous faut aussi considérer les caractéristiques de perméabilité des sols, en donnant la préférence à ceux qui ont un coefficient de perméabilité inférieur ou égal à 10^{-6} m/s.

TABEAU 27

Aptitude relative des sols à la construction de canaux

Groupe de sols USC	Résistance à l'érosion	Revêtement en terre compactée
GW	1	—
GP	2	—
GM	4	4
GC	3	1
SW	6	—
SP	7, si graveleux	—
SM	8, si graveleux	5 (Erosion critique)
SC	5	2
ML	—	6 (Erosion critique)
CL	9	3
OL	—	7 (Erosion critique)
MH	—	—
CH	10	8 (Variations de volume critiques)

NOTE: Le numéro 1 indique le meilleur sol.

124 Détermination de l'aptitude d'un sol à l'aide de la courbe granulométrique

Si vous avez la courbe granulométrique de votre sol (voir section 6.7), vous pouvez la comparer avec des courbes de référence et déterminer l'aptitude relative de votre sol à la construction d'étiangs et de digues. Toutefois, cette méthode n'est généralement utilisée que par des spécialistes du génie civil pour planifier et concevoir des terres piscicoles relativement importantes. Voici un exemple de l'emploi de cette méthode :

- Vous avez porté au laboratoire d'analyse un échantillon de sol perturbé prélevé dans l'horizon B d'un de vos profils pédologiques. On l'a analysé pour mesurer toute une série de calibres de particules, et les résultats vous ont été communiqués sous la forme soit de pourcentages des fréquences de poids, soit d'une courbe granulométrique.

- Si vous recevez les pourcentages des fréquences de poids, reportez ces résultats au crayon sur une photocopie du graphique figurant au tableau 28 et tracez la courbe granulométrique de votre échantillon.

- A présent, comparez cette courbe avec les deux courbes de référence tracées sur le graphique...

- Si la courbe de votre échantillon tombe à l'intérieur de la zone A, le sol convient pour le fond d'un étiang, à condition que son coefficient de perméabilité soit inférieur à $K = 5 \times 10^{-9}$ m/s (voir tableau 16).
- Si la courbe de votre échantillon tombe à l'intérieur de la zone B, le sol convient pour la construction de digues sans noyau argileux imperméable.
- Si la courbe de votre échantillon tombe à l'intérieur de la zone C, il vous faudra procéder à des études complémentaires des caractéristiques du sol (voir sections 1.21 et 1.22). Il se peut alors que votre sol ne puisse être utilisé qu'à certaines conditions, par exemple après la mise en boue du fond de l'étiang et en utilisant un noyau argileux imperméable dans les digues.

Note. Avant de prendre une décision définitive au sujet de l'aptitude de votre sol, vérifiez avec soin les autres caractéristiques importantes.

comme la structure du sol et sa perméabilité. Celles-ci devraient confirmer votre diagnostic (voir tableaux 17A et 17B).

Exemples

- Deux horizons pédologiques ont été échantillonnés dans une fosse à ciel ouvert, et des analyses mécaniques faites au laboratoire ont fourni les distributions granulométriques.
- Les fréquences cumulatives sont calculées.

ÉCHANTILLON 1	Dimensions des particules en millimètres									
	1	0.2	0.075	0.04	0.025	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.002
Fréquences (pourcentages)	0.3	1.7	17	13	17	9	8	3	0.5	0.5
Fréquences cumulatives (pourcentages)	0.3	2	19	32	49	58	66	69	69.5	70

ÉCHANTILLON 2	Dimensions des particules en millimètres									
	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.0075	0.0045	0.002
Fréquences (pourcentages)	1	2	4	7	12	30	26	9	3	2
Fréquences cumulatives (pourcentages)	1	3	7	14	26	56	82	91	94	99

- On trace les courbes granulométriques sur une photocopie du graphique de référence donné au tableau 28, en utilisant l'échelle verticale de droite pour pointer les fréquences cumulatives.

- Comparez la position des courbes des échantillons par rapport à la position des courbes de référence...

- L'échantillon 1 est un limon argileux, contenant 28 pour cent de sable, 42 pour cent de limon et 30 pour cent d'argile. Sa courbe granulométrique tombe dans la zone A du graphique de référence, ce qui signifie que ce sol peut constituer le fond d'un étiang.
- L'échantillon 2 est un limon sableux, contenant 56 pour cent de sable, 43 pour cent de limon et 1 pour cent d'argile. Sa courbe granulométrique tombe dans la zone B, ce qui signifie que ce sol peut servir à la construction de digues d'étiangs sans noyau argileux imperméable.

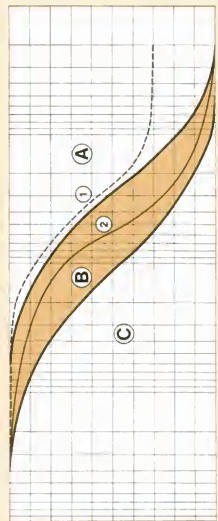
TABEAU 28

Graphique et courbes de référence pour la détermination de l'aptitude d'un sol
à partir de la courbe granulométrique établie pour un échantillon de ce sol

SOLS NON COHÉRENTS		SOLS COHÉRENTS		
GRAVIER	SABLE	T	LIMON (SILT)	ARGILE

Particules traversant le tamis,
en pourcentage du poids sec total.

Particules ne traversant pas le tamis,
en pourcentage du poids sec total.



Diamètre des particules en millimètres

T = Transition

125 Les sols et la gestion des étangs

Une étude pédologique vous aidera à mieux planifier et à mieux gérer vos étangs, en limitant les pertes d'eau par infiltration et en améliorant la fertilité.

Réduction des pertes d'eau par infiltration

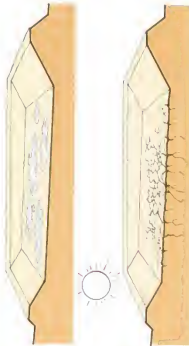
Si le sol du fond de l'étang est **sableux**, les infiltrations seront exceptionnellement importantes — 10 cm ou plus par jour —, surtout pendant la première année qui suivra la construction. Pour réduire ces pertes, vous pouvez boucher les pores du sol en répandant sur le fond de l'étang de la matière organique, par exemple du compost et du fumier animal, que vous mélangerez bien avec les 10 à 15 premiers centimètres de sol.



Si le sol du fond de l'étang a une **structure fortement développée** et que les pertes par infiltration y sont importantes — de l'ordre de 10 cm ou plus par jour —, il peut être aussi nécessaire de détruire la structure du sol soit en le compactant mécaniquement au moyen d'un tracteur à chenilles ou d'un rouleau à pieds de mouton, soit en pratiquant la mise en boue (voir « Pisciculture continentale — l'eau », Collection FAO: Formation, N° 4, page 27).



Si le **pourcentage d'argile** présente dans le fond de l'étang est supérieur à 60 pour cent, il faut éviter que le fond de l'étang ne devienne trop sec quand vous le videz. Si cela arrive, de profondes fissures pourraient se former, qui augmenteraient les pertes d'eau quand l'étang sera de nouveau rempli.



Amélioration de la fertilité de l'étang

Si le **fond de l'étang est acide** et a un pH faible, vous pouvez améliorer la fertilité de l'étang en ajoutant de la chaux pour neutraliser l'acidité. C'est une technique qui sera traitée dans un prochain volume de *Méthodes simples pour l'aquaculture*.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

<i>Unités de longueur</i>		<i>Temps</i>	
cm	centimètre	j	jour
in.	pouce = 2,54 cm	h	heure
km	kilomètre	mn	minute
m	mètre	s	seconde
mm	millimètre		
μ	micron = 0,001 mm		
>	supérieur à		
<	inférieur à		
<i>Qualité du sol</i>		<i>Divers</i>	
K	coefficient de perméabilité	ln	logarithme naturel
LL	limite de liquidité	USC	Système unité de classification des sols (Unified Soil Classification)
LP	limite de plasticité	USDA	Département de l'agriculture des États-Unis (United States Department of Agriculture)
IP	indice de plasticité		
CG	courbe granulométrique		

GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES¹

ABSORPTION	Phénomène physique de la prise d'eau et/ou d'ions par une substance. Le fluide pénètre de l'extérieur à l'intérieur de la substance et se mélange avec elle.	BASALTE	Roche volcanique foncée à grains fins, formée par le refroidissement de magma fondu. Elle se désintègre lentement pour donner des sols basiques de couleur foncée, argileux, riches en fer et en calcium.
ADHÉSION	Attraction moléculaire entre deux substances, qui maintient leurs surfaces en contact. Les particules d'eau adhèrent aux particules du sol.	CAROTTE	Assemblage ordonné d'échantillons de sol successifs obtenus par forage, au cours d'une prospection pédologique.
ADSORPTION	Fixation, par simple attraction d'une particule, d'un ion ou d'une molécule à une surface. L'argile et l'humus sont les substances du sol les plus capables d'adsorption.	CLAYPAN	Terme anglais passé dans le langage pédologique pour désigner un horizon peu perméable ou une couche d'argile lourde, que l'on trouve en terrain plat ou dans des dépressions peu profondes où l'eau stagne pendant la saison des pluies.
AGRÉGAT	Assemblage de plusieurs grumeaux* entre eux. Les espaces vides laissés entre ces grumeaux créent la macrostructure.	COHÉSION	Force qui unit entre elles des substances ayant le même caractère, par exemple des molécules d'eau ou des particules de sol.

¹ Ce glossaire contient les définitions des termes techniques signalés par un astérisque (*) dans le texte.

COLLOIDE

Particule de très petite dimension (0,5-1 micron), soit minérale (par exemple argile colloïdale), soit organique (par exemple humus).

COMPACTAGE

Réorganisation des particules d'un sol sous l'effet de la pression. Les petites particules viennent se loger dans les espaces laissés libres entre les plus grosses.

GENEISS

Roche semblable au granite², mais dont les minéraux sont disposés en couches; roche métamorphique provenant de la transformation de roches préexistantes.

GONFLEMENT

Augmentation de volume du sol, par exemple gonflement des sols argileux quand ils s'imprègnent d'eau.

GRANITE

Roche volcanique formée par le refroidissement de magma fondu; elle est composée d'environ 65 pour cent de feldspath, de 25 pour cent de quartz et d'autres minéraux, souvent de mica; riche en silice, elle peut donner lieu à la formation de sols acides.

GRÈS

Roche constituée de grains de sable cimentés par une pâte dont la nature caractérise le grès. Par exemple, dans le grès argileux le ciment est d'argile.

GRUMEAU

Assemblage de particules minérales plus ou moins fines, cimentées en un tout homogène, par exemple par des colloïdes³. Les espaces vides laissés entre les particules créent la microstructure.

LESSIVAGE

Migration de substances solubles ou de colloïdes dans les interstices du sol.

MICASCHISTE

Roche métamorphique résultant de la transformation de roches préexistantes, formée principalement de mica et disposée en couches; elle produit généralement des sols pauvres en calcaire.

MONTMORILLONITE

Un des groupes d'argile, caractérisé par une très forte capacité d'échange des cations, ce qui lui donne par exemple un très fort potentiel de gonflement-retrait.

NOYAU	Quand on construit une digue ou un barrage, on place au centre un noyau argileux pour en garantir l'imperméabilité.		
OXYDATION	Réaction chimique par laquelle, par exemple, il y a un apport d'oxygène.	POROSITÉ	Espace laissé libre entre les particules ou les grumeaux* dans le sol. La porosité est exprimée en pourcentage du volume total de l'échantillon.
PLASTICITÉ	Capacité qu'a le sol de se déformer sans casser et de rester déformé quand la force déformante n'agit plus.	SATURATION PAR L'EAU	Etat d'un sol complètement gorgé d'eau.
PLINTHITE	Matériau argileux ferme, riche en fer, se manifestant souvent par des taches* rouges dans le sol. Soumis à des arrosages et ressuyages répétés, il se transforme irréversiblement en hardpan ferrugineux ou en agrégats irréguliers.	TACHES	Points ou marbrures de différentes couleurs ou nuances, éparpillés dans une couleur dominante.
		TAMIS	Grille à mailles carrées, servant principalement à trier les particules ayant un diamètre supérieur à 0,05 mm. Il existe plusieurs séries de tamis normalisés: AFNOR (France), BSI (Royaume-Uni), DIN (Rép. féd. d'Allemagne) et Tyler (Etats-Unis).
PORE	Volume discontinu d'air dans le sol; peut être rempli d'eau.	TERRE FINE	Fraction de sol composée des particules ayant un diamètre inférieur à 2 mm.

BIBLIOGRAPHIE

- FAO. Le sol — Comment est fait le sol? Cours d'apprentissage agricole. N° 4. *Agr-Service Afrique*. 37 p.
1976
- FAO. *Directives pour la description des sols*. 2^e édition. Service des ressources en sols, de leur mise en valeur et de leur conservation. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rome, FAO. 72 p.
1977
- FAO. *Comment est fait le sol? Manuel illustré*. Rome, FAO. 34 p. (Ce livre est une adaptation, abondamment illustrée, du cours d'apprentissage agricole N° 4 *Agr-Service Afrique* susmentionné.)
1978
- FAO. Etudes et perspectives pédologiques en vue de l'irrigation. *Bulletin pédologique de la FAO* N° 42. 188 p.
1986
- FITZPATRICK, E.A. *Soils. Their formation, classification and distribution*. 1980. Londres, Longman. 353 p.
- FOTH, H.D. *Fundamentals of soil science*. 6^e édition. New York, J. Wiley and Sons. 435 p.
1978
- OLSON, G.W. Interprétation des prospections pédologiques à l'usage de l'ingénieur. *Bulletin pédologique de la FAO* N° 19. 26 p.
1973
- PLAISANCE, G. & CAILLEUX A. *Dictionary of soils (Dictionnaire des sols)*. Washington, US Dept Agriculture/National Science Foundation. (Traduit de l'édition française. Paris, La Maison rustique, 1958.) 1109 p.
1981
- SOIL SURVEY STAFF. U.S. Dept Agriculture Handbook 18. 503 p.
1951
- TERZAGHI, K. & PECK, R.B. *Soil mechanics in engineering practice*. 2^e édition. New York, J. Wiley and Sons. 729 p.
1967

Toutes les photographies sont reproduites avec l'autorisation de l'International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), International Soil Museum, B.P. 353, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas.

La classification internationale des sols est donnée entre parenthèses, à titre d'information. FAO. 1974. *Carte mondiale des sols FAO/Unesco* (1:5 000 000), Tome 1: Légende. Paris, Unesco. 59 p.



0 cm

A

10 cm

Photographie 1

Les horizons majeurs et les horizons secondaires sont bien définis dans ce profil pédologique. Il y a une accumulation de matière organique dans les horizons A, B1 et B2. L'horizon aluvial E a une couleur beaucoup plus claire à cause du lessivage (podzol humique).

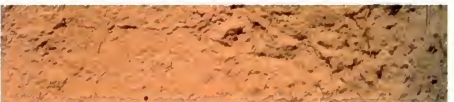
E

65 cm

B1

100 cm

B2



0 cm

A

15 cm

Photographie 2

Un sol latérique typique des régions tropicales humides. Dans ce cas, il n'y a eu aucune influence des eaux souterraines dans la zone 0-125 cm où on n'observe ni concrétions dures ni pinitite. L'horizon-B est un limon sableux rougeâtre relativement riche en sels de fer, avec au moins 15 pour cent d'argile (ferralsol orthique, Zambie). Voir également la photographie 9.

B

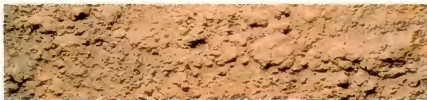
115 cm

Photographie 3

0 cm

A

15 cm



B

110 cm

Un sol tropical profond avec deux horizons majeurs bien définis, A et B. Ce dernier contient suffisamment d'argile pour réduire sa perméabilité à un niveau raisonnablement bas (cambisol chromique, Botswana).

0 cm

A

20

B1

45 cm

B2

80 cm

Cr

125cm

Photographie 4

Un sol à sulfates acide d'eau douce formé à partir de dépôts alluvionnaires récents dans la plaine d'une rivière. Les conditions hydromorphiques sont caractérisées ici par des taches jaunes bien évidentes dans la zone inférieure de l'horizon-B (B2). Ces taches sont constituées d'un composant de sulfate de fer, la jarosite. Elles résultent de l'activité, en présence d'air, de bactéries sur un minéral contenant du fer et du soufre, la pyrite. L'horizon C est réduit (fluvisol thionique, Thaïlande).

0 cm

A

10 cm



Photographie 5

Sol noir à colon que l'on trouve en général sous des climats relativement chauds et secs. Il est caractérisé par une teneur élevée en argile très fine (*montmorillonite*), une faible teneur en matière organique et une couleur très foncée, parfois rougeâtre. Lorsque ils sont secs, ces sols se fissurent. A certaines époques et presque tous les ans, ces tillsures atteignent au moins 1 cm de large sur 50 cm de profondeur. Ces sols sont appelés *regur* en Inde et *lir* au Maroc (vertisol pellique, Botswana).

B1

90 cm

B2

0 cm

Photographie 6

Sol tourbeux, avec un horizon *h* organique, formé ou se formant par accumulation de matière organique déposée en surface et qui est saturée d'eau pendant de longues périodes (histosol dystrique, Irlande).

H

120 cm



0 cm



A

25 cm

B1

40 cm

B2

55 cm

C

70 cm

Photographie 7

Un profil pédologique montrant l'influence des eaux souterraines dans les premiers 50 cm du sol. Les propriétés hydromorphiques sont caractérisées par des taches dans la partie supérieure de l'horizon-B (B1) et la couleur grisâtre terne de la partie réduite de l'horizon-B (B2). Cette dernière caractéristique témoigne d'un problème de drainage pendant une bonne partie de l'année. L'horizon-C est également réduit (gleysol eutrique).

30 cm

40 cm

50 cm

60 cm

70 cm



— 0 cm

Photographie 8

A

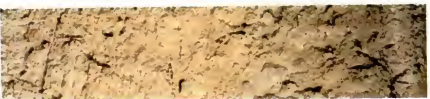
— 30 cm

B

— 75 cm

Plinthite

— 110 cm



L'horizon-B est riche en argile. A partir de 75 cm de profondeur, les taches rouges se composent de plinthite. Celle-ci est une argile ferre et riche en fer, qui devient irrémédiablement dure lorsqu'elle est alternativement mouillée et séchée à plusieurs reprises, formant alors une cuirasse ferrugineuse ou hardpan. Voir photographie 9 (acrisol plinthique, Nigeria).

— 75 cm

— 80 cm

— 90 cm

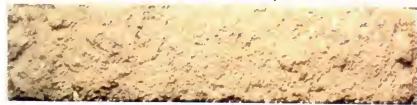
— 100 cm



0 cm

A

10 cm



B

70 cm

Hardpan

110 cm

Photographie 9

Un sol latéritique que l'on trouve communément dans les climats tropicaux et subtropicaux où les saisons sèches et humides alternent. L'horizon-B est enrichi en argile et en sels de fer.

A partir de 70 cm de profondeur, la photo montre une *cuirasse ferrugineuse* (*hardpan*), une couche continue, similaire à de la roche et composée de *plinthite* irréversiblement durcie et où les composants ferrugineux sont les agents de cimentation (acrisol ferrique, Nigéria).

40 cm

50 cm

60 cm

70 cm

80 cm

90 cm

100 cm



STRUCTURE DU SOL



10. *Structure granuleuse*
dans un horizon-B



11. *Structure grumelleuse*
dans un horizon-A

STRUCTURE DU SOL



12. *Structure subanguleuse*
dans un horizon-B



13. *Structure prismatique*
dans un horizon-B

NOTES



Service des ressources des eaux intérieures et de l'aquaculture
Division des ressources halieutiques et de l'environnement
Département des pêches

